

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月11日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-203194

[ST.10/C]:

[JP2002-203194]

出 願 人

Applicant(s):

株式会社東芝

2003年 2月21日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3009677

【書類名】 特許願

【整理番号】 APB025026

【提出日】 平成14年 7月11日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 27/26

【発明の名称】 検査方法及びフォトマスク

【請求項の数】 26

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝  
                                横浜事業所内

    【氏名】 福原 和也

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝  
                                横浜事業所内

    【氏名】 田中 聡

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝  
                                横浜事業所内

    【氏名】 井上 壮一

【特許出願人】

    【識別番号】 000003078

    【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

    【識別番号】 100083806

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 三好 秀和

    【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

    【識別番号】 100068342

【弁理士】

【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108707

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】

【識別番号】 100095500

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【プルーフの要否】	要	

【書類名】 明細書

【発明の名称】 検査方法及びフォトマスク

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 偏光された第 1 の露光光でウェーハ上に塗布されたレジストにフォトマスクの露光マークを転写して投影光学系の第 1 の光学特性を求めるステップと、

前記第 1 の露光光と偏光状態が異なる第 2 の露光光でウェーハ上に塗布された新たなレジストに前記フォトマスクの露光マークを転写して前記投影光学系の第 2 の光学特性を求めるステップと、

前記第 1 及び第 2 の光学特性の差を算出するステップ  
とを含むことを特徴とする検査方法。

【請求項 2】 前記第 1 の露光光が、直線偏光であることを特徴とする請求項 1 に記載の検査方法。

【請求項 3】 前記第 2 の露光光が、前記第 1 の露光光の偏光と直交する偏光であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の検査方法。

【請求項 4】 前記第 2 の露光光が、無偏光であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の検査方法。

【請求項 5】 前記露光光が、前記フォトマスクの前記露光マークと対向するように形成された偏光子により偏光されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

【請求項 6】 前記露光光が、ペリクル上に形成された偏光子により偏光されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

【請求項 7】 前記光学特性が、前記投影光学系の投影レンズの収差であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

【請求項 8】 前記投影レンズの収差は、コマ収差、球面収差、非点収差、 $3\theta$  収差のうちいずれかであることを特徴とする請求項 7 に記載の検査方法。

【請求項 9】 前記収差の計測が、三光束干渉条件で行われることを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の検査方法。

【請求項 10】 前記収差が、ゼルニケ多項式の収差係数で表わされること

を特徴とする請求項 7～9 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

【請求項 1 1】 第 1 の表面及び前記第 1 の表面に対向する第 2 の表面を有する透明基板と、

前記第 1 の表面に配置された露光マークと、

前記第 2 の表面に前記露光マークに対向して配置された偏光子とを備えることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 2】 前記偏光子が、露光光を第 1 の偏光状態に偏光する第 1 の偏光子と、

前記露光光を前記第 1 の偏光状態とは異なる偏光状態に偏光する第 2 の偏光子とからなることを特徴とする請求項 1 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 3】 前記第 1 の偏光状態が、直線偏光であることを特徴とする請求項 1 2 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 4】 前記第 2 の偏光状態が、前記第 1 の偏光状態と偏光面が互いに直交することを特徴とする請求項 1 2 又は 1 3 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 5】 前記第 2 の偏光状態が、無偏光状態であることを特徴とする請求項 1 2 又は 1 3 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 6】 前記偏光子が、ラインアンドスペースパターンよりなることを特徴とする請求項 1 1～1 5 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 1 7】 前記偏光子のラインアンドスペースパターンの周期が、露光光の波長以下であることを特徴とする請求項 1 6 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 8】 前記露光マークが、投影レンズの収差計測パターンを含むことを特徴とする請求項 1 1～1 7 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 1 9】 第 1 の表面を有する第 1 の透明基板と、  
前記第 1 の表面に配置された露光マークと、  
前記第 1 の表面に対向するように配置され、第 2 の表面を有する第 2 の透明基板からなるペリクルと、

前記第 2 の表面に前記露光マークに対向して配置された偏光子とを備えることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 2 0】 前記偏光子が、露光光を第 1 の偏光状態に偏光する第 1 の

偏光子と、

前記露光光を前記第 1 の偏光状態とは異なる偏光状態に偏光する第 2 の偏光子とからなることを特徴とする請求項 1 9 に記載のフォトマスク。

【請求項 2 1】 前記第 1 の偏光状態が、直線偏光であることを特徴とする請求項 2 0 に記載のフォトマスク。

【請求項 2 2】 前記第 2 の偏光状態が、前記第 1 の偏光状態と偏光面が互いに直交することを特徴とする請求項 2 0 又は 2 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 2 3】 前記第 2 の偏光状態が、無偏光状態であることを特徴とする請求項 2 0 又は 2 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 2 4】 前記偏光子が、ラインアンドスペースパターンよりなることを特徴とする請求項 1 9 ～ 2 3 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 2 5】 前記偏光子のラインアンドスペースパターンの周期が、露光光の波長以下であることを特徴とする請求項 2 4 に記載のフォトマスク。

【請求項 2 6】 前記露光マークが、投影レンズの収差計測パターンを含むことを特徴とする請求項 1 9 ～ 2 5 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光リソグラフィ技術に関し、特に露光装置の投影光学系の性能検査方法及び検査に用いるフォトマスクに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

半導体デバイスを構成するパターンの最小線幅、最小周期は年々微細化し、このパターンを解像する露光装置に要求される最小解像線幅は現在 1 0 0 n m 程度以下となってきた。露光装置の最小解像周期は、露光波長  $\lambda$  及び投影レンズの開口数 (N A) で決まる。より微細なパターンを形成するためには露光波長  $\lambda$  を短波長化し、N A を拡大すればよい。この目的のために、露光光の短波長化が進められている。近年ではアルゴンフロライド (A r F) エキシマレーザ露光装置 ( $\lambda = 1 9 3 \text{ n m}$ ) が実用化され、またフッ素ガス ( $\text{F}_2$ ) エキシマレーザ露

光装置 ( $\lambda = 157 \text{ nm}$ ) が数年後の実用化を目標に開発が行われている。193 nm以下の波長で光リソグラフィ用レンズとして使用できる光学材料は種類が限られており、現在の技術では波長193 nmの光には蛍石（フッ化カルシウム単結晶）と熔融石英が使用できるが、波長157 nmの光に対しては蛍石しか使うことができない。

## 【0003】

レンズを使用するとき問題となる現象の一つに複屈折がある。屈折率は光の屈折角や位相速度を支配する物理量であるから、投影レンズが複屈折を示す場合、投影レンズの結像特性が光の偏光状態によって変化する。複屈折があると、例えば露光光の偏光状態ごとに異なる位置に像を結ぶことによって像がぼけ、像コントラストや解像力が低下して、微細パターンが形成できない恐れがある。

## 【0004】

蛍石は特定の結晶軸方向に比較的大きな複屈折をもつことが最近の研究から判明した。すなわち、蛍石の複屈折を示さない結晶軸を光軸方向にとってレンズを製造したとしても、光軸と平行でない方向に沿う光路については複屈折を示す。この結果、転写すべきパターンが微細であればあるほど、光軸と平行でない方向に多くの回折光が発生し、複屈折の影響を受けやすくなってしまう。レンズ全体として複屈折の影響を抑制するために、複数の蛍石のレンズを、それぞれの結晶軸方向を互いに変えて配置することによって、複屈折の影響をある程度相殺したり特定の光路に影響が集中したりしないようにできる。しかし、その場合でも複屈折の影響を完全に抑制することは、現在の技術では困難である。

## 【0005】

## 【発明が解決しようとする課題】

露光装置の投影光学系に用いるレンズ材の複屈折は結像性能を劣化させるため抑制しなければならないが、結像の劣化状態だけをみてもそれが複屈折のために発生しているかどうか見分けられない。半導体デバイスの微細化のために複屈折の小さいレンズを投影光学系に使用する必要があり、複屈折が可能な限り抑制されているかどうかを、他の像劣化要因と切り分けて検査する方法が必要である。

## 【0006】



本発明は、このような課題を解決し、複屈折の影響を他の像劣化要因と切り分けて検査する投影光学系の検査方法を提供することである。

【 0 0 0 7 】

本発明の他の目的は、投影光学系の検査方法に用いるフォトマスクを提供することである。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明の第 1 の特徴は、(イ) 偏光された第 1 の露光光でウェーハ上に塗布されたレジストにフォトマスクの露光マークを転写して投影光学系の第 1 の光学特性を求めるステップと、(ロ) 第 1 の露光光と偏光状態が異なる第 2 の露光光でウェーハ上に塗布された新たなレジストにフォトマスクの露光マークを転写して投影光学系の第 2 の光学特性を求めるステップと、(ハ) 第 1 及び第 2 の光学特性の差を算出するステップとを含む検査方法であることを要旨とする。

【 0 0 0 9 】

本発明の第 1 の特徴によれば、複屈折の影響を検査する投影光学系の検査方法を提供することができる。

【 0 0 1 0 】

本発明の第 1 の特徴において、第 1 の露光光が、直線偏光であることが好ましい。また、第 2 の露光光が、第 1 の露光光の偏光と直交する偏光であることが好ましい。また、第 2 の露光光は、無偏光であってもよい。また、露光光は、フォトマスクの露光パターンと対向するように形成された偏光子により偏光される。このようにして、偏光状態の異なる露光光により光学特性が計測され、投影光学系の性能検査が行われる。また、露光光が、ペリクル上に形成された偏光子により偏光されてもよい。露光光の偏光状態はフォトマスクを透過しても変化しないためである。また、光学特性が、投影光学系の投影レンズの収差であることが好ましい。投影レンズの収差は、コマ収差、球面収差、非点収差、3 $\theta$  収差のうち少なくとも一つが用いられる。収差が、ゼルニケ多項式の収差係数で表わされることが好ましい。さらに、収差の計測が、三光束干渉条件で行われることが好ま

しい。

【 0 0 1 1 】

本発明の第2の特徴は、（イ）第1の表面及び第1の表面に対向する第2の表面を有する透明基板と、（ロ）第1の表面に配置された露光マークと、（ハ）第2の表面に露光マークに対向して配置された偏光子とを備えるフォトマスクであることを要旨とする。

【 0 0 1 2 】

本発明の第2の特徴によれば、投影光学系の複屈折の影響を検査するフォトマスクを提供することができる。

【 0 0 1 3 】

本発明の第3の特徴は、（イ）第1の表面を有する第1の透明基板と、（ロ）第1の表面に配置された露光マークと、（ハ）第1の表面に対向するように配置され、第2の表面を有する第2の透明基板からなるペリクルと、（ニ）第2の表面に露光マークに対向して配置された偏光子とを備えるフォトマスクであることを要旨とする。

【 0 0 1 4 】

本発明の第3の特徴によれば、投影光学系の複屈折の影響を検査するフォトマスクを提供することができる。

【 0 0 1 5 】

本発明の第2及び第3の特徴において、偏光子が、露光光を第1の偏光状態に偏光する第1の偏光子と、露光光を第1の偏光状態とは異なる偏光状態に偏光する第2の偏光子とからなることが好ましい。また、第1の偏光状態が、直線偏光であることが好ましい。また、第2の偏光状態が、第1の偏光状態と偏光面が互いに直交することが好ましい。また、第2の偏光状態が、無偏光状態であってもよい。また、偏光子が、ラインアンドスペースパターンよりなるワイヤグリッド型偏光子であることが好ましい。ワイヤグリッド型偏光子のラインアンドスペースパターンの周期が、露光光の波長以下であれば、光を直線偏光させることができる。また、露光マークが、投影レンズの収差計測パターンを含むことが好ましい。

## 【 0 0 1 6 】

## 【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。以下の図面の記載において、同一または類似の部分には同一または類似の符号が付してある。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。また図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

## 【 0 0 1 7 】

本発明の実施の形態の投影光学系の性能検査方法の説明に用いる露光装置 1 は、図 2 に示すような屈折型の露光装置（スキャナ）で、縮小比は 4 : 1 としている。光源 2 として波長  $\lambda$  : 1 9 3 n m のアルゴンフロライド（A r F）エキシマレーザが用いられる。照明光学系 3 には、フライアイレンズやコンデンサレンズ等が含まれる。投影光学系 9 は、投影レンズ 5 と瞳 6 等により構成されている。露光光は、照明光学系 3 と投影光学系 9 との間のマスクステージ 4 上に設置されたフォトマスク 3 3 のパターンを、ウェーハステージ 7 上のウェーハ 1 0 に縮小投影する。ペリクル 8 は、フォトマスク 3 3 上に塵が付着するのを防止するために設置され、フォトマスク 3 3 と同じ材料の透明基板からなる。なお、説明の便宜上、露光装置 1 として、スキャナを示しているが、スキャナの他にも、ステッパ等が使用可能である。また、縮小比を 4 : 1 としているが、任意の縮小比でもよいことは勿論である。

## 【 0 0 1 8 】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク 3 3 は、図 3（a）に示すように、露光装置 1 のマスクステージ 5 に、ペリクル 8 で保護された第 1 の表面 1 5 を下向きにして設置される。フォトマスク 3 3 の第 1 の表面 1 5 上には、図 3（b）に示すように、投影光学系 9 の各種のレンズ収差、例えば、コマ収差や 3  $\theta$  収差等の奇関数収差、及び球面収差や非点収差等の偶関数収差を計測する収差計測ユニット 3 6 a ~ 3 6 i 及び 3 7 a ~ 3 7 i が、それぞれ第 1 の収差計測ユニット領域 3 4 及び第 2 の収差計測ユニット領域 3 5 に配置されている。フォトマスク 3

3の第2の表面16上には、図3(c)に示すように、二種類のワイヤグリッド型偏光子が配置される。第1の収差計測ユニット領域34に対向して配置された第1の偏光子31と、第2の収差計測ユニット領域35に対向して配置された第2の偏光子32のワイヤグリッドパターンの周期方向は、互いに直交している。例えば、第1の偏光子31のワイヤグリッドパターンの周期方向は、図3(c)に示すフォトマスク33の左右方向の辺に対して平行で、第2の偏光子32のワイヤグリッドパターンの周期方向は、第1の偏光子31のワイヤグリッドパターンの周期方向と直交する方向である。

## 【0019】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク33の第2の表面16に配置されるワイヤグリッド型偏光子11は、図4(a)の平面図に示すように、所定の方に周期性をもつラインアンドスペース(L/S)パターンである。ワイヤグリッド型偏光子11のL/Sパターンの周期方向の断面構造は、図4(b)に示すように、例えば、透明石英からなる透明基板12上にクロム(Cr)等の金属膜からなる遮光部13a~13cが一定の遮光部幅 $w$ : 20nm、一定の周期 $P$ : 100nmで配列されている。ワイヤグリッド型偏光子11は入射した光のうち、L/Sパターンの周期 $P$ 方向に電場の振動面をもつ直線偏光光のみを通過させる機能を持つ。

## 【0020】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク33は、露光装置1のマスクステージ4に第2の表面16を露光光の入射側に向けて設置される。ここで、第1又は第2の収差計測ユニット領域34、35のそれぞれの大きさが、露光装置1の静止露光における一括露光領域と一致するように設計されている。フォトマスク33に入射する露光光は、まず第1又は第2の偏光子31、32により偏光面が互いに直交する直線偏光光とされて、第1又は第2の収差計測ユニット領域34、35に入射する。二つの直線偏光光を用いて露光したパターンにより収差計測を行うため、投影光学系9の投影レンズ5の複屈折の大小が判定できる。なお、本発明の実施の形態では、第1及び第2の偏光子31、32を有する第2の表面16を露光光の入射側に向けたが、逆に露光光の出射側に向けて設置してもよい。フ

フォトマスク 33 の収差計測ユニット 36 a ~ 36 i 及び 37 a ~ 37 i を通過する際に、露光光の偏光状態は変化せず、第 1 及び第 2 の偏光子 31、32 によってそれぞれの直線偏光成分だけが選択的に取り出されるからである。

#### 【0021】

ワイヤグリッド型偏光子 11 の形成方法は、半導体デバイス製造に用いられるフォトマスクの製造方法と同様である。まず、図 5 (a) に示すように、露光光に対してほぼ透明な透明基板 12 上に、クロム等の金属の蒸着等により、遮光性膜 23 が形成される。次いで、遮光性膜 23 表面にレジストを塗布し、電子線描画装置でワイヤグリッドパターンを描画し、現像工程により、図 5 (b) に示すように、レジストパターン 14 が遮光性膜 23 上に形成される。その後、反応性イオンエッチング (RIE) 工程等により遮光性膜 23 が選択エッチングされて、図 5 (c) に示すように、遮光部 13 a ~ 13 c が透明基板 12 上に形成され、ワイヤグリッド型偏光子 11 が作製される。また、本発明の実施の形態に係る収差の計測に用いる収差計測用マークも、後述するように、基本構造は所定の周期 P をもつラインアンドスペース (L/S) パターンであり、図 5 に示したワイヤグリッド型偏光子 11 の形成方法と同様にして作製される。

#### 【0022】

本発明の実施の形態に係るフォトマスクは、第 1 の表面 15 上に、投影光学系 9 の各種の収差を計測する収差計測用マークを含む収差計測ユニット 36 a ~ 36 i 及び 37 a ~ 37 i が第 1 及び第 2 の収差計測ユニット領域 34、35 に形成され、さらに、第 2 の表面 16 上に、互いに直交するパターンを有するワイヤグリッド型の第 1 及び第 2 の偏光子 31、32 が対向するように形成されて、作製される。

#### 【0023】

本発明の実施の形態に係る収差の計測には、例えば、特許第 3 2 5 6 6 7 8 号公報において本筆頭発明者らが示した、レンズの収差計測用マークが用いられる。収差計測用マークには、所定の周期 P をもつラインアンドスペース (L/S) パターンが含まれている。すべての L/S パターンの線幅/周期比は 0.5 である。周期 P は、露光装置のコヒーレンスファクタ  $\sigma$ 、露光波長  $\lambda$ 、投影レンズ開

口数  $NA$  との間に次の関係を満たしている。

【 0 0 2 4 】

$$3 \cdot \lambda / (NA \cdot (1 + \sigma)) \geq P \geq \lambda / (NA \cdot (1 - \sigma)) \quad (1)$$

(1) 式の条件は、 $L/S$  パターンの像が、0 次回折光と  $\pm 1$  次回折光の干渉により形成される条件であり、「3 光束干渉条件」と呼ばれる。即ち、1 次回折光が投影光学系 9 の瞳 6 から外れず、3 次以上の高次回折光が瞳 6 面を通過しない条件を意味している。また、 $L/S$  パターンの線幅/周期比を 0.5 としているため、2 次回折光は発生しない。3 光束干渉条件下の収差計測では、+1 次回折光の経路における波面誤差と -1 次回折光の経路における波面誤差の和及び差が計測される。

【 0 0 2 5 】

コマ収差や 3  $\theta$  収差等の奇関数収差を計測するための収差計測用マークの基本構造は、図 6 (a) に示すように、いずれも複数の正方形パターンである、一対の露光マーク 4 3 と切り抜き露光マーク 4 4 からなる。露光マーク 4 3 は、一様な周期の微細な  $L/S$  パターンの  $L/S$  内枠パターン 4 1 と、 $L/S$  内枠パターン 4 1 を囲むようにして、フォトマスク上で幅が  $2 \mu m$  のラインの外枠パターン 4 2 を有している。 $L/S$  内枠パターン 4 1 の微細な  $L/S$  パターンは、周期  $P$  が (1) 式の条件を満たしている。切り抜き露光マーク 4 4 は、内枠切り抜きパターン 4 6 と外枠切り抜きパターン 4 5 を有している。露光マーク 4 3 と切り抜き露光マーク 4 4 の中心間の距離は  $50 \mu m$  で、互いに重なり合うことなく配置されている。露光マーク 4 3 と切り抜き露光マーク 4 4 は、例えば、図 6 (a) の左右方向にフォトマスク上で  $50 \mu m$  ずらして、それぞれの正方形の中心を合わせた場合、内枠切り抜きパターン 4 6 が  $L/S$  内枠パターン 4 1 の一部に重なり、また、外枠切り抜きパターン 4 5 が外枠パターン 4 2 を全部覆うように設計されている。

【 0 0 2 6 】

奇関数収差の計測には、図 7 に示すように、図 6 (a) に示した基本構造の露光マーク 4 3 と切り抜き露光マーク 4 4 と同様に、露光マーク 1 2 1 と切り抜き露光マーク 1 2 4 とが対をなし、時計回り方向に 30 度回転させた第 1 の回転露

光マーク 1 2 2 と第 1 の回転切り抜きマーク 1 2 5 とが対をなし、更に時計回り方向に 6 0 度回転させた第 2 の回転露光マーク 1 2 3 と第 2 の回転切り抜きマーク 1 2 6 とが対をなしている。露光マーク 1 2 1 及び切り抜き露光マーク 1 2 4 には、L/S 内枠パターン 1 2 1 a と外枠パターン 1 2 1 b、及び内枠切り抜きパターン 1 2 4 a と外枠切り抜きパターン 1 2 4 b が配置されている。同様に、第 1 及び第 2 の回転露光マーク 1 2 2、1 2 3 には、L/S 内枠パターン 1 2 2 a、1 2 3 a、及び外枠パターン 1 2 2 b、1 2 3 b が配置され、第 1 及び第 2 の回転切り抜き露光マーク 1 2 5、1 2 6 には、内枠切り抜きパターン 1 2 5 a、1 2 6 a、及び外枠切り抜きパターン 1 2 5 b、1 2 6 b が配置されている。また、図 8 に示すように、第 1 の露光マーク 6 1 と第 1 の切り抜き露光マーク 6 4、第 2 の露光マーク 6 2 と第 2 の切り抜き露光マーク 6 5、及び第 3 の露光マーク 6 3 と第 3 の切り抜き露光マーク 6 6 が、それぞれ対で奇関数収差の計測に用いられる。ここで、第 1 ～第 3 の露光マーク 6 1 ～6 3 の外枠パターン 6 1 b ～6 3 b は同一寸法のパターンであり、第 1 ～第 3 の切り抜き露光マーク 6 4 ～6 6 は同一のパターンである。L/S 内枠パターン 6 1 a ～6 3 a は、(1) 式の三光束干渉条件を満たす範囲内で周期 P が異なる L/S パターンからなる。さらに、図 7 に示した第 1 及び第 2 の回転露光マーク 1 2 2、1 2 3 だけでなく、L/S パターンの周期 P を (1) 式の三光束干渉条件を満たす範囲内で変化させた L/S 内枠パターンを配置した回転露光マークの対も配置される。

#### 【 0 0 2 7 】

球面収差や非点収差等の偶関数収差を計測するための露光マークは、図 6 (b) に示すように、周期 P が (1) 式の三光束干渉条件を満たす微細な L/S パターンであり、縦 L/S マーク 4 7、横 L/S マーク 4 8、第 1 の斜め L/S マーク 4 9、及び第 2 の斜め L/S マーク 5 0 の四種類がセットとなる。縦 L/S マーク 4 7 の L/S パターンの周期 P の向きを基準とすると、それぞれ横 L/S マーク 4 8 が 9 0 °、第 1 の斜め L/S マーク 4 9 が 1 3 5 °、及び第 2 の斜め L/S マーク 5 0 が 4 5 ° の向きとなる。また、奇関数収差の場合と同様、(1) 式の三光束干渉条件を満たす範囲内で周期 P が異なる L/S パターンからなる偶関数収差計測用の露光マークが複数配置される。

## 【 0 0 2 8 】

このように、第 1 及び第 2 の収差計測ユニット 3 6 a ～ 3 6 i 及び 3 7 a ～ 3 7 i に、それぞれ周期と向きが異なる複数の奇関数、及び偶関数収差計測用の露光マークが互いに近傍に配置される。第 1 及び第 2 の収差計測ユニット 3 6 a ～ 3 6 i 及び 3 7 a ～ 3 7 i に配置される各露光マークの配列は、同一とされている。

## 【 0 0 2 9 】

次に、本発明の実施の形態に係る収差計測について説明する。露光装置 1 による静止露光の領域は、図 3 ( b ) に示した第 1 又は第 2 の収差計測ユニット領域 3 4、3 5 である。したがって、例えば、まずフォトマスク 3 3 上の第 1 の収差計測ユニット領域 3 4 を第 1 の偏光子 3 1 で直線偏光された露光光により収差計測ユニット 3 6 a ～ 3 6 i の露光マークのパターンをウェーハ 1 0 上に転写する。その後、フォトマスク 3 3 上の第 2 の収差計測ユニット領域 3 5 を第 2 の偏光子 3 2 で直線偏光された露光光により収差計測ユニット 3 7 a ～ 3 7 i の露光マークのパターンをウェーハ 1 0 上に転写する。このとき、投影レンズ 5 に対する第 1 の収差計測ユニット領域 3 4 中の各露光マークの相対位置と、投影レンズ 5 に対する第 2 の収差計測ユニット領域 3 5 中の各露光マークの相対位置とがほぼ一致するようにする。即ち、2 回の収差計測は、ほぼ同じ像位置に関して実施される。また、奇関数及び偶関数収差計測の露光方法が相異しているため、それぞれ別々に収差計測される。

## 【 0 0 3 0 】

奇関数収差の計測では、第 1 及び第 2 の収差計測ユニット領域 3 4、3 5 それぞれに対して二重露光が行われる。図 8 の露光マーク 6 1 ～ 6 6 を用いて奇関数収差計測を行う場合、例えば、まず 1 回目の露光を行い、次に、ウェーハステージ 7 を第 1 ～ 第 3 の露光マーク 6 1 ～ 6 3 と第 1 ～ 第 3 の切り抜き露光マーク 6 4 ～ 6 6 が重なる方向に 1 2. 5  $\mu$  m ( フォトマスク 3 3 上で 5 0  $\mu$  m ) 移動して 2 回目の露光を行う。この二重露光により、第 1 ～ 第 3 の露光マーク 6 1 ～ 6 3 の L / S 内枠パターン 6 1 a ～ 6 3 a、及び外枠パターン 6 1 b ～ 6 3 b は、第 1 ～ 第 3 の切り抜き露光マーク 6 4 ～ 6 6 が重なる部分が切り取られるような



パターンでウェーハ 10 上に転写され、図 9 に示すように、第 1 ～第 3 のレジストパターン 67 ～69 が、現像工程を経て形成される。第 1 ～第 3 のレジストパターン 67 ～69 の L/S 内枠レジストパターン 67 a ～69 a は、内枠切り抜きパターン 64 a ～66 a の幅の L/S パターンとなり、外枠レジストパターン 67 b ～69 b は、 $0.5 \mu\text{m}$  の幅のパターンとなる。同様に、図 7 に示した露光マーク 121、第 1 及び第 2 の回転露光マーク 122、123 が、切り抜き露光マーク 124、第 1 及び第 2 の回転切り抜き露光マーク 125、126 で切り取られて、図 10 に示すように、L/S 内枠レジストパターン 131 a ～133 a、及び外枠レジストパターン 131 b ～133 b からなるレジストパターン 131、第 1 及び第 2 の回転レジストパターン 132、133 が形成される。図 9 及び図 10 に示したような L/S 内枠レジストパターン 67 a ～69 a、131 a ～133 a と外枠レジストパターン 67 b ～69 b、131 b ～133 b の相対的な転写位置ずれ量が、合わせずれ検査装置を用いて測定される。

#### 【0031】

次に、奇関数収差計測で得られた相対的な転写位置ずれ量と奇関数収差量の関係について説明する。x 方向に周期 P の周期性を持ち、(1) 式の三光束干渉条件を満たす L/S パターンを  $\sigma = 0$  に近いコヒーレント照明で結像させる状態を考える。図 11 (a) に示すように、光源 2 からの露光光がマスクパターン 21 に入射して回折される場合、0 次回折光は基板面に垂直に入射、 $\pm 1$  次回折光が、入射面を x-z 平面とし、0 次回折光に対し角度  $\theta$  で、0 次回折光を挟むように瞳面 70 に入射し、ウェーハ上でマスクパターン像 22 が結像される。ここで、座標系の原点を、無収差レンズの場合に干渉波の極大が現れる理想像点とする。また、光の進行方向を正 z 方向とする各回折光の電気ベクトルを  $E_0$ 、 $E_1$ 、 $E_{-1}$ 、露光波長を  $\lambda$ 、0 次回折光の振幅を A、 $\pm 1$  次回折光の振幅を B とする。また 0 次回折光の位相を基準として、 $\pm 1$  次回折光の位相誤差をそれぞれ  $\phi_1$ 、 $\phi_{-1}$  とする。一般に、時間依存部分を省いた光の電気ベクトルは、次式で表される。

#### 【0032】

$$E = A \cdot \exp(i \cdot k \cdot x) \quad (2)$$

ここで、 $i$  は虚数単位、 $k$  は波数ベクトル、 $x$  は位置ベクトルである。したがって、各回折光の電気ベクトルは、次式で表される。

【0033】

【数1】

$$E_0(x, y, z) = A \cdot \exp(i \cdot k \cdot z) \quad (3)$$

$$E_1(x, y, z) = B \cdot \exp\{i \cdot (-k \cdot x \cdot \sin \theta + k \cdot z \cdot \cos \theta + \phi_1)\} \quad (4)$$

$$E_{-1}(x, y, z) = B \cdot \exp\{i \cdot (k \cdot x \cdot \sin \theta + k \cdot z \cdot \cos \theta + \phi_{-1})\} \quad (5)$$

ウェーハ上に形成される干渉波  $I$  は、

$$I = |E_0 + E_1 + E_{-1}|^2 \quad (6)$$

である。(6) 式を展開すると、

【数2】

$$I = A^2 + 2 \cdot B^2 + 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos(S \cdot k \cdot x - \phi_{\text{odd}}) \cdot \cos(C \cdot k \cdot z - \phi_{\text{even}}) + 2 \cdot B^2 \cdot \cos\{2 \cdot (S \cdot k \cdot x - \phi_{\text{odd}})\} \quad (7)$$

ここで、簡単のため、 $S = \sin \theta$ 、 $C = 1 - \cos \theta$ 、 $\phi_{\text{even}} = (\phi_1 + \phi_{-1})/2$ 、 $\phi_{\text{odd}} = (\phi_1 - \phi_{-1})/2$  の置き換えを使った。 $\phi_{\text{even}}$  は偶関数収差成分、 $\phi_{\text{odd}}$  は奇関数収差成分である。 $z$  を固定して  $x-y$  平面の振る舞いを考えると、原点付近での干渉波の極大位置は、 $S \cdot k \cdot x - \phi_{\text{odd}} = 0$  即ち、

$$x = \phi_{\text{odd}} / (S \cdot k) \quad (8)$$

に存在することがわかる。

【0034】

±1 次回折光の入射角  $\theta$  は、 $L/S$  パターン周期  $P$  と露光波長  $\lambda$  の間に、

$$\sin \theta = \lambda / P \quad (9)$$

という関係があることを考慮すると、 $L/S$  パターンの相対的な転写位置ずれ量  $\delta x$  は、

$$\delta x = P \cdot \phi_{\text{odd}} / (2 \cdot \pi) \quad (10)$$

と表される。

【0035】

一方、例えば、図 6 (a) に示した外枠パターン 42 は、露光波長  $\lambda$  に対して十分大きなパターン幅であり、投影レンズを通過する露光光は瞳面 70 の中央を

通過する。通常、投影レンズの中央はよく調整されているから、瞳面 7 0 の中央では波面収差は 0 であると考えて良い。従って、外枠パターン 4 2 の位置はたいていの場合変化せず、位置基準マークとすることができる。即ち、奇関数収差  $\phi_{odd}$  は、合わせずれ検査装置を用いて計測された相対的な転写位置ずれ量  $\delta x$  から次式で導かれる。

【 0 0 3 6 】

$$\phi_{odd} = 2 \cdot \pi \cdot \delta x / P \quad (11)$$

ここで収差は位相の次元で表されている。露光波長  $\lambda$  を単位とする表記では

$$\phi_{odd} = \delta x / P \quad (12)$$

となる。この  $\phi_{odd}(R, \theta)$  は投影光学系 9 の瞳 6 の瞳面 7 0 内の座標  $(R, \theta)$  における波面収差の奇関数成分を表す。瞳面 7 0 は半径を 1 とする単位円として規定され、瞳面 7 0 の動径  $R$  は、 $0 \leq R \leq 1$  である。周期  $P$  の  $L/S$  パターンを露光したとき、0 次回折光は瞳面 7 0 の中央、 $\pm 1$  次回折光は、瞳面 7 0 中央から  $\lambda / (P \cdot NA)$  だけ  $L/S$  パターンの周期方向に離れた位置を通過する。回折光通過位置の瞳面 7 0 中心からの距離は、 $L/S$  パターンの周期  $P$  に反比例し、周期  $P$  が大きい場合は、図 1 1 (b) に示すように、瞳面 7 0 a の中心から  $R_1$  離れた内側の位置を通り、周期  $P$  が小さい場合は、図 1 1 (c) に示すように、瞳面 7 0 b 内の中心から  $R_2$  離れた外側の位置を通る。言い換えると、単位円で規定される瞳面 7 0 上の、 $(R, \theta)$  における奇関数収差成分が  $\phi_{odd}$  で、 $(R, \theta + 180^\circ)$  における奇関数収差成分が  $-\phi_{odd}$  である。即ち、

$$\phi_{odd}(R, \theta) = \delta x / P \quad (13)$$

$$\phi_{odd}(R, \theta + 180) = -\delta x / P \quad (14)$$

となる。なお、動径  $R$  は  $\lambda$ 、 $P$ 、 $NA$  との間に次の関係がある。

【 0 0 3 7 】

$$R = \lambda / (P \cdot NA) \quad (15)$$

以上を考慮すれば、周期  $P$  及び回転角度が異なる露光マークから形成された収差計測用パターンの計測により、瞳面 7 0 上の異なる位置における奇関数収差成分  $\phi_{odd}(R, \theta)$  が求められる。例えば、周期が  $P_0$  で  $30^\circ$  回転した露光マークから形成された収差計測用パターンの計測から、 $\phi_{odd}(\lambda / (P_0 \cdot NA), 30^\circ)$  と

、  $\phi_{\text{odd}}(\lambda/(P_0 \cdot \text{NA}), -150^\circ) = -\phi_{\text{odd}}(\lambda/(P_0 \cdot \text{NA}), 30^\circ)$  が求められる。

【 0 0 3 8 】

次に、求めた  $\phi_{\text{odd}}$  から奇関数収差のゼルニケ収差係数を算出する。オプティカル・レビュー (OPTICAL REVIEW)、第 7 巻、(2000 年)、525 頁 - 534 頁に記載されている次の行列計算によって奇関数収差を  $1\theta$  成分、 $3\theta$  成分、 $5\theta$  成分に分ける。

【 0 0 3 9 】

【数 3】

$$\begin{pmatrix} \phi_{\cos\theta}(R) \\ \phi_{\sin\theta}(R) \\ \phi_{\cos 3\theta}(R) \\ \phi_{\sin 3\theta}(R) \\ \phi_{\cos 5\theta}(R) \\ \phi_{\sin 5\theta}(R) \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 & 0 & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & 1/2 & \sqrt{3}/2 & 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -\sqrt{3}/2 & 1/2 & 0 & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & 1/2 & -\sqrt{3}/2 & 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{\text{odd}}(R, 0^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 30^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 60^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 90^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 120^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 150^\circ) \end{pmatrix} \quad (16)$$

次に、奇関数収差の  $1\theta$  成分、 $3\theta$  成分を動径関数にフィットして、係数を求める。

【 0 0 4 0 】

【数 4】

$$\phi_{\cos\theta}(R) = a_2 \cdot Z_2(R) + a_7 \cdot Z_7(R) + a_{14} \cdot Z_{14}(R) + \dots \quad (17)$$

$$\phi_{\sin\theta}(R) = a_3 \cdot Z_3(R) + a_8 \cdot Z_8(R) + a_{15} \cdot Z_{15}(R) + \dots \quad (18)$$

$$\phi_{\cos 3\theta}(R) = a_{10} \cdot Z_{10}(R) + a_{19} \cdot Z_{19}(R) + \dots \quad (19)$$

$$\phi_{\sin 3\theta}(R) = a_{11} \cdot Z_{11}(R) + a_{20} \cdot Z_{20}(R) + \dots \quad (20)$$

ここで  $a_n$  ( $n$  は整数) は第  $n$  項のゼルニケ収差係数で、 $Z_n(R)$  は、第  $n$  項のゼルニケ多項式の動径  $R$  依存部分である。このようにして、コマ収差  $a_7$ 、 $a_8$ 、 $3\theta$  収差  $a_{10}$ 、 $a_{11}$ 、及びそれらの高次成分  $a_{14}$ 、 $a_{15}$ 、 $a_{19}$ 、 $a_{20}$  が求められる。

【 0 0 4 1 】

次に、偶関数収差の測定について説明する。図 6 (b) に示した 4 種の L/S マーク 47 ~ 50 を、露光量を固定したまま徐々にフォーカス位置と転写位置を変えながらレジストを塗布したウェーハ 10 上に露光する。このようにフォーカ

ス状態を変化させて転写したL/Sレジストパターンを、走査型電子顕微鏡（SEM）等を用いて測定する。各L/Sレジストパターンのライン幅は、フォーカス状態の変化に従い極大値を持つ。ライン幅が極大値となるフォーカス状態は3光束干渉に形成する干渉波のコントラストが極大となる状態であり、即ちベストフォーカスである。周期或いは向きの異なる各パターンごとに、ベストフォーカスを決定する。具体的には、フォーカス位置、即ち、露光装置で設定された各デフォーカス距離毎に、L/Sレジストパターンのライン幅寸法の極大値もしくはスペース幅の極小値を取る位置がベストフォーカスの位置となる。例えば、図12に示すように、縦L/Sレジストパターン111a～111gは、デフォーカス距離が $-0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$ の範囲でパターンが転写され、ベストフォーカスは、 $0.1 \mu\text{m}$ の位置である。同様に、横L/Sレジストパターン112a～112g、第1の斜めL/Sレジストパターン113a～113g及び第2の斜めL/Sレジストパターン114a～114g、それぞれのベストフォーカスは、0、 $-0.1$ 、及び0のデフォーカス距離の位置にある。上記例ではライン幅寸法の極大値もしくはスペース幅の極小値を取る位置をベストフォーカスとしたが、露光量が小さい場合は、ライン幅寸法の極小値もしくはスペース幅の極大値を取る位置をベストフォーカスとしてもよい。なお、デフォーカス距離が0の位置としては、例えば、図6（a）に示した露光マーク43の外枠パターン42により、異なるパターン間の平均的なベストフォーカス位置を予め求め、その位置をデフォーカスの基準位置に設定してある。したがって、図12のデフォーカス距離が0.0の状態は、使用する露光装置1におけるデフォーカスの基準位置を表わし、必ずしも無収差の場合のフォーカス位置を表わすわけではない。

#### 【0042】

次に、ベストフォーカスのずれと偶関数収差量の関係について説明する。3光束干渉によりウェーハ上に形成される干渉波の式（7）において、ウェーハ10が光の進行方向（z方向）にずれた場合を考える。コントラストを決める（7）式の右辺第2項がz依存性を持つことから、ベストフォーカスとなる条件は、次の式で表される。

#### 【0043】

$$C \cdot k \cdot Z - \phi_{\text{even}} = 0 \quad (21)$$

すなわち、ベストフォーカスの無収差の場合からのずれ量  $\delta z$  は、偶関数収差成分  $\phi_{\text{even}}$  に比例する。具体的には、 $\pm 1$  次回折光の入射角  $\theta$  が、 $L/S$  周期  $P$  と露光波長  $\lambda$  との間に (9) 式の関係があることを考慮して、次のように表現できる。

【0044】

$$\phi_{\text{even}} = C \cdot k \cdot \delta z = 2 \cdot \pi \cdot \kappa(\lambda, P) \cdot \delta z / \lambda \quad (22)$$

ここで、 $\kappa(\lambda, P) = 1 - (1 - \lambda^2 / P^2)^{1/2}$  である。(22) 式では収差が位相の次元で表されている。波長を単位とする表記では

$$\phi_{\text{even}} = \kappa(\lambda, P) \cdot \delta z / \lambda \quad (23)$$

となる。

【0045】

$\phi_{\text{even}}(R, \theta)$  は投影レンズ 5 の瞳面内座標  $(R, \theta)$  における波面収差の偶関数成分を表す。言い換えると、単位円で規定される瞳面 70 上、 $(R, \theta)$  及び  $(R, \theta + 180^\circ)$  における偶関数収差成分が  $\phi_{\text{even}}$  である。即ち、

【数 5】

$$\phi_{\text{even}}(R, \theta) = \phi_{\text{even}}(R, \theta + 180^\circ) = \kappa(\lambda, P) \cdot \delta z / \lambda \quad (24)$$

以上を考慮すれば、周期  $P$  及び角度が異なる露光マークから形成された  $L/S$  レジストパターンの計測により、瞳面 70 上の異なる位置における偶関数収差成分  $\phi_{\text{even}}(R, \theta)$  が求められる。例えば、周期が  $P_0$  で  $45^\circ$  回転したマークから形成された  $L/S$  レジストパターンの計測から、

【数 6】

$$\phi_{\text{even}}(\lambda / (P_0 \cdot NA), 45^\circ) = \phi_{\text{even}}(\lambda / (P_0 \cdot NA), -135^\circ) \quad (25)$$

が求められる。

【0046】

次に、ベストフォーカスのずれ量  $\delta z$  から偶関数収差のゼルニケ収差係数を算出する。上述のオプティカル・レビューに記載されている次の行列計算によって偶関数収差を  $0\theta$  成分  $\phi_{\text{sym}}(R)$ 、 $2\theta$  成分  $\phi_{\cos 2\theta}(R)$ 、 $\phi_{\sin 2\theta}(R)$  等に分ける。

【 0 0 4 7 】

【数 7】

$$\begin{pmatrix} \phi_{sym}(R) \\ \phi_{\cos 2\theta}(R) \\ \phi_{\sin 2\theta}(R) \\ \phi_{\cos 4\theta}(R) \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{even}(R, 0^\circ) \\ \phi_{even}(R, 45^\circ) \\ \phi_{even}(R, 90^\circ) \\ \phi_{even}(R, 135^\circ) \end{pmatrix} \quad (26)$$

次に、 $0\theta$ 成分 $\phi_{sym}(R)$ 、 $2\theta$ 成分 $\phi_{\cos 2\theta}(R)$ 、 $\phi_{\sin 2\theta}(R)$ を動径関数にフィットして、係数を求める。

【 0 0 4 8 】

【数 8】

$$\phi_{sym}(R) = a_4 \cdot Z_4(R) + a_9 \cdot Z_9(R) + a_{16} \cdot Z_{16}(R) + \dots \quad (27)$$

$$\phi_{\cos 2\theta}(R) = a_5 \cdot Z_5(R) + a_{12} \cdot Z_{12}(R) + \dots \quad (28)$$

$$\phi_{\sin 2\theta}(R) = a_6 \cdot Z_6(R) + a_{13} \cdot Z_{13}(R) + \dots \quad (29)$$

このようにして、球面収差 $a_9$ 、非点収差 $a_5$ 、 $a_6$ 、及びそれらの高次成分 $a_{16}$ 、 $a_{12}$ 、 $a_{13}$ が求められる。なお、(21)～(25)式までの議論においては、無収差レンズの場合に対するベストフォーカスのずれ量を $\delta z$ としているが、実際の計測においては無収差のレンズの場合のベストフォーカスが不明である。そこで、図12を例にとって説明したように、適当なデフォーカス位置をデフォーカスの基準位置とし、それに対するベストフォーカスのずれ量 $\delta z'$ を $\delta z$ の代わりに使用することになる。ベストフォーカスのずれ量 $\delta z'$ を用いて(26)、(27)式の計算を行うと、デフォーカスを表わす係数 $a_4$ が変化したが、偶関数収差を表わす他の係数 $a_5$ 、 $a_6$ 、 $a_9$ 等は変化しない。したがって、ベストフォーカスのずれ量 $\delta z'$ を用いても偶関数収差の計測が可能である。

【 0 0 4 9 】

本発明の実施の形態に係る投影レンズの性能検査方法を図1にしたがって説明する。

【 0 0 5 0 】

(イ) まず、フォトマスク33及び第1のレジストを塗布したウェーハ10が露光装置1のウェーハステージ7上に装着される。ステップS101で、例えば

、第 1 の収差計測ユニット領域 3 4 の、図 6 ( a ) 、図 7 及び図 8 で示した奇関数収差計測用の露光マークを用いて二重露光が行われ、第 1 の偏光子 3 1 で直線偏光された露光光で各々の L / S パターンがウェーハ 1 0 上の第 1 のレジストに転写される。第 1 のレジストの現像後、図 9 及び図 1 0 に示したような L / S レジストパターンから横ずれ量  $\delta x$  が計測される。

## 【 0 0 5 1 】

(ロ) 第 2 のレジストを塗布したウェーハ 1 0 が露光装置に装着される。ステップ S 1 0 2 で、第 1 の収差計測ユニット領域 3 4 の、図 6 ( b ) に示した偶関数収差計測用の露光マークを用いて露光量を固定したままフォーカス位置と転写位置を変えながら、第 1 の偏光子 3 1 で直線偏光された露光光でおのこの L / S パターンがウェーハ 1 0 上の第 2 のレジストに転写される。第 2 のレジストの現像後、図 1 2 に示したような L / S レジストパターンからベストフォーカスずれ量  $\delta z$  が計測される。

## 【 0 0 5 2 】

(ハ) ステップ S 1 0 3 で、第 1 の偏光子 3 1 で直線偏光された露光光による横ずれ量  $\delta x$  及びベストフォーカスずれ量  $\delta z$  から、第 1 のゼルニケ収差係数が算出される。例えば、奇関数収差として、コマ収差のゼルニケ係数  $a_7$ 、 $a_8$ 、及び 3  $\theta$  収差のゼルニケ係数  $a_{10}$ 、 $a_{11}$ 、また、偶関数収差として、非点収差のゼルニケ係数  $a_5$ 、 $a_6$ 、及び球面収差のゼルニケ係数  $a_9$  が算出される。

## 【 0 0 5 3 】

(ニ) 次に、ステップ S 1 0 4 で、第 3 のレジストを塗布したウェーハ 1 0 が露光装置に装着される。第 2 の収差計測ユニット領域 3 5 の、図 6 ( a ) 、図 7 及び図 8 で示した奇関数収差計測用の露光マークを用いて二重露光が行われ、第 2 の偏光子 3 2 で直線偏光された露光光で各々の L / S パターンがウェーハ 1 0 上の第 3 のレジストに転写される。第 3 のレジストの現像後、図 9 及び図 1 0 に示したような L / S レジストパターンから横ずれ量  $\delta x$  が計測される。

## 【 0 0 5 4 】

(ホ) 第 4 のレジストを塗布したウェーハ 1 0 が露光装置に装着される。ステップ S 1 0 5 で、第 4 の収差計測ユニット領域 3 5 の、図 6 ( b ) に示した偶関



数収差計測用の露光マークを用いて露光量を固定したままフォーカス位置と転写位置を変えながら、第2の偏光子32で直線偏光された露光光でおのこのL/Sパターンがウェーハ10上の第4のレジストに転写される。第4のレジストの現像後、図12に示したようなL/Sレジストパターンからベストフォーカスずれ量 $\delta z$ が計測される。

## 【0055】

(ヘ) ステップS106で、第2の偏光子32で直線偏光された露光光による横ずれ量 $\delta x$ 及びベストフォーカスずれ量 $\delta z$ から、第2のゼルニケ収差係数が算出される。ステップ103と同様に、奇関数収差として、コマ収差のゼルニケ係数 $a_7$ 、 $a_8$ 、及び $3\theta$ 収差のゼルニケ係数 $a_{10}$ 、 $a_{11}$ 、また、偶関数収差として、非点収差のゼルニケ係数 $a_5$ 、 $a_6$ 、及び球面収差のゼルニケ係数 $a_9$ が算出される。

## 【0056】

(ト) ステップS107で、算出された第1及び第2のゼルニケ収差係数の差が求められる。求められたゼルニケ収差係数差より、ステップS108で、投影レンズ5の性能が判定され、投影レンズ5の選別が行われる。

## 【0057】

図13には、検査1および2として算出された第1及び第2のゼルニケ収差係数と、ゼルニケ収差係数差を示してある。投影レンズ5の複屈折が十分に抑制されているならば、検査1の結果と検査2の結果との間に差はない。一方、投影レンズ5の複屈折が大きい場合、光の偏光状態によって投影レンズ5の実効的な収差が変わるから、露光光の偏光状態を変えて露光した2回の露光の計測結果は異なる。図13においては、二つの検査で求めたゼルニケ収差係数差が検査1で計測されたゼルニケ収差係数の10%以上あり、投影レンズ5が大きな複屈折を示しているといえる。

## 【0058】

投影レンズが複屈折を示さないならば、入射光の偏光状態と射出光の偏光状態は同じである。一方、複屈折を示す材質が使われている場合は、入射光と射出光の偏光状態が変わる。複屈折を示す光透過性材料に偏光光を入射した場合、射出

光の偏光状態は次式で表される。

【0059】

【数9】

$$\begin{pmatrix} E'_p \\ E'_s \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} E_p \\ E_s \end{pmatrix} \quad (30)$$

ここで、 $(E_p, E_s)$  は、入射光の電場ベクトルの p 偏光成分及び s 偏光成分、 $(E'_p, E'_s)$  は、出射光の電場ベクトルの p 偏光成分及び s 偏光成分、M は、光透過性材料内の光路に関するジョンス (Jones) 行列である。

【0060】

露光装置 1 のレンズの材料として使用される蛍石は、結晶方向によって複屈折の大きさが異なる。従って、露光光が通る経路によって異なる偏光状態の変化を受けることになる。この状態は、瞳 6 上の任意の点において定義される  $2 \times 2$  の行列 M により表現できる。行列 M は瞳座標及び像面座標の関数となる。また、ある一つの像点における結像を考えると、行列 M は瞳座標の関数となる。

【0061】

露光装置 1 においては、フォトマスク 33 から出射した回折光が投影レンズ 5 に入射し、投影レンズ 5 を通過した光がウェーハ 10 に到達する。ウェーハ 10 表面では、2 本以上の光束の干渉により、像が形成される。光束の干渉においては、互いに直交する偏光光同士は干渉せず、像のコントラストを生じない。従って、干渉する光が互いに異なる偏光状態にある場合、像のコントラストが低下し、正常なパターン形成が困難となる。

【0062】

ここで、2 光束干渉による結像を例に取り、複屈折の影響を説明する。図 14 に示すように、露光光 B がフォトマスク 33 の偏光子及び L/S 露光マークにより偏光、回折されて第 1 及び第 2 の偏光光線 B1、B2 となる。投影レンズに入射する前は同一の強度及び偏光状態であった第 1 及び第 2 の偏光光線 B1、B2 の 2 つの光束が、投影レンズ 5 内の別の経路を通過し、同一入射面 (図 14 の x-z 平面) 上で、かつウェーハ 10 の法線に対し角度  $\theta$  だけ傾いた角度からウェーハ 10 表面に入射する状態を表している。ここではウェーハ 10 表面に入射す

る第 1 及び第 2 の偏光光線 B 1、B 2 の偏光状態を、入射面に平行な成分（p 偏光成分）と入射面に垂直な成分（s 偏光成分）とを用いて表記する。第 1 の偏光光線 B 1 の偏光状態と第 2 の偏光光線 B 2 の偏光状態がそれぞれ（ $E_{1p}$ 、 $E_{1s}$ ）、（ $E_{2p}$ 、 $E_{2s}$ ）のように表されているとする。p 偏光と s 偏光の位相差を  $\phi_{\gamma b}$ （ $\gamma$  は 1 または 2）とすると、光の電場ベクトルの p 偏光成分、s 偏光成分は次のように表される。ただし、時間依存の項を省略した。

【0063】

$$E_{\gamma p} = A_{\gamma p} \cdot \exp \{i \cdot (k_{\gamma} \cdot x + \phi_{\gamma} + \phi_{\gamma b}/2)\} \quad (31)$$

$$E_{\gamma s} = A_{\gamma s} \cdot \exp \{i \cdot (k_{\gamma} \cdot x + \phi_{\gamma} - \phi_{\gamma b}/2)\} \quad (32)$$

$\phi_{\gamma}$  は、s 偏光、p 偏光状態の平均的な位相を表し、i は虚数単位、x は位置ベクトルである。 $A_{\gamma p}$ 、 $A_{\gamma s}$  は、それぞれ電場の p 偏光成分、s 偏光成分の振幅を表す。 $k_{\gamma}$  は、波数ベクトルを表し、具体的には次式で表される。

【0064】

$$k_1 = 2 \cdot \pi / \lambda (\sin \theta, 0, \cos \theta) \quad (33)$$

$$k_2 = 2 \cdot \pi / \lambda (-\sin \theta, 0, \cos \theta) \quad (34)$$

このような条件の下、ウェーハ表面における干渉波 I は、電場の振動面が互いに直交する p 偏光光及び s 偏光光同士が干渉しないことを考慮すると、p 偏光の干渉波  $I_p$ 、s 偏光の干渉波  $I_s$  の和で表わされる。即ち、

【数 10】

$$I_p = |E_{1p} + E_{2p}|^2 = |A_{1p}|^2 + |A_{2p}|^2 + 2 \cdot A_{1p} \cdot A_{2p} \cdot (2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi + \Delta \phi_b) \quad (35)$$

$$I_s = |E_{1s} + E_{2s}|^2 = |A_{1s}|^2 + |A_{2s}|^2 + 2 \cdot A_{1s} \cdot A_{2s} \cdot (2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi - \Delta \phi_b) \quad (36)$$

$$\begin{aligned} I &= I_p + I_s \\ &= I_1 + I_2 + A_p \cdot \cos(2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi + \Delta \phi_b) + A_s \cdot \cos(2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi - \Delta \phi_b) \end{aligned} \quad (37)$$

ただし、 $I_1$ 、 $I_2$  は、それぞれ光線 1 及び光線 2 の強度、 $A_p = 2 \cdot A_{1p} \cdot A_{2p} \cdot \cos(2 \cdot \theta)$  は、p 偏光光同士の干渉波の振幅、 $A_s = 2 \cdot A_{1s} \cdot A_{2s}$  は、s 偏光光同士の干渉波の振幅である。 $k$  は波数ベクトルの大きさ、 $\Delta \phi = \phi_1 - \phi_2$  は偏光に無関係な二つの

光束の位相差、 $\Delta \phi_b = \phi_{1b} - \phi_{2b}$ は偏光の大きさに依存した二つの光束の位相差である。また、各干渉波ごとに収差が異なり、p 偏光成分の収差及び s 偏光成分の収差は、

$$\Phi_p = \Delta \phi + \Delta \phi_b \quad (38)$$

$$\Phi_s = \Delta \phi - \Delta \phi_b \quad (39)$$

となる。

【0065】

像全体としての収差  $\Phi$  は、p 偏光の干渉波の振動成分  $A_p$ 、p 偏光の収差  $\Phi_p$ 、及び s 偏光の干渉波の振動成分  $A_s$ 、s 偏光の収差  $\Phi_s$  を用いて、次式で近似できる。

【0066】

【数11】

$$\Phi \doteq (A_p \cdot \Phi_p + A_s \cdot \Phi_s) / (A_p + A_s) = \Delta \phi + \Delta \phi_b \cdot (A_p - A_s) / (A_p + A_s) \quad (40)$$

$A_p$ 、 $A_s$  は、二つの光束の偏光状態により決まる値であり、(30)式に示されているように、入射光の偏光状態を表すベクトルに瞳座標に依存する行列  $M$  を掛けて得られるベクトルの各成分の大きさである。即ち、二つの光束の偏光状態は、投影レンズ5に入射する光の偏光状態によって変化する。従って、投影レンズ5に入射する前に光の偏光状態を変えることによって、ウェーハ10面の像に対する収差の影響が異なる。即ち、ウェーハ10面に形成される収差計測用レジストパターンを計測して求めた収差の値が、入射側の光の偏光状態によって変わる。投影レンズ5の複屈折が十分小さい場合は、投影レンズ5を通過する光の偏光状態が変化しない。このとき行列  $M$  は瞳座標によらない単位行列となる。従って、 $\phi_{1b} = \phi_{2b}$ 、 $\Delta \phi_b = 0$  であるから、入射側の偏光状態によらず(40)式の  $\Phi$  が一定となる。即ち、ウェーハ10面に形成される収差計測用レジストパターンを計測して求めた収差の値が、入射側の光の偏光状態によって変化しなければ、投影レンズ5の複屈折が十分小さいと判定できる。

【0067】

ここでは、2 光束干渉を例に取り説明したが、3 光束干渉の場合も同様の議論が成り立つ。即ち、入射光の偏光状態を変えて露光を行って収差計測することに

より、投影レンズ5の複屈折の大小を調査することができる。

【0068】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明の実施の形態を記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者にはさまざまな代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0069】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク33は、ワイヤグリッド型の第1及び第2の偏光子31、32はフォトマスク33の端面に平行に配列されていたが、図15に示すように、フォトマスク33aの第1の表面15aに配置される第1及び第2の収差計測ユニット領域34a、35aに対向するように第2の表面16aに配置される第1及び第2の偏光子161、162のワイヤグリッド型のパターンの方は、フォトマスク33a端面に対して斜めの異なる向きに互いに直交するように配列されていてもよい。このような場合でも、第1及び第2の偏光子161、162により互いに直交する直線偏光が得られるため、本発明の実施の形態と同様の効果が得られることはいうまでもない。

【0070】

また、図16に示すように、フォトマスク33bの第1の表面15bの第1の収差計測ユニット領域34bに対向して第2の表面16bに偏光子172を配置し、第2の収差計測ユニット領域35bに対向する第2の表面16bの領域にはグリッド型偏光子を配置しない構造であってもよい。この場合は、偏光光と無偏光光の状態により、投影レンズ5の収差の差より検査が行われる。

【0071】

また、本発明の実施の形態においては、ワイヤグリッド型偏光子をフォトマスク33の第2の表面16に配置しているが、ワイヤグリッド型偏光子をフォトマスク33ではなくペリクル8上に配置しても良い。図17(a)に示すように、ペリクル8aが、フォトマスク33cに対するゴミ付着防止のために設置されている。フォトマスク33cは、図17(b)に示すように、第1の表面15cに第1及び第2の収差計測ユニット領域34c、35cが配置されている。第1及

び第2の偏光子31a、32aは、図17(c)に示すように、ペリクル8a上の、第1の表面15cの第1及び第2の収差計測ユニット領域34c、35cに対向する位置に配置されている。ペリクル8aは、図18に示すように、フォトマスク33cと同様の透明基板18上に、L/Sパターンの周期Pで遮光部幅wの遮光部19a～19cが配置された構造である。フォトマスク33cを透過してくる露光光の偏光状態は変化しないため、ワイヤグリッド型偏光子がペリクル8上にあっても、本発明の実施の形態と同様の効果が得られることは、いうまでもない。なお、第1及び第2の偏光子31a、32aは、ペリクル8aの、フォトマスク33Cに対向する面でも、その反対の面であっても同様の効果が得られることは、勿論である。

#### 【0072】

さらに、本発明の実施の形態においては、投影レンズ5の収差としてコマ収差と3 $\theta$ 収差の奇関数収差及び球面収差と非点収差の偶関数収差を用いているが、4種の収差のうち少なくともいずれか一つあれば投影レンズの正の検査は可能である。あるいは、奇関数収差、偶関数収差のうち一方を用いてもよいことは、勿論である。また、投影レンズ5の収差計測方法は説明に用いられている方法に限らず、別の方法が適用できることは、勿論である。

#### 【0073】

このように、本発明はここでは記載していないさまざまな実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

#### 【0074】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、複屈折の影響を他の像劣化要因と切り分けて検査する投影光学系の検査方法を提供することができる。

#### 【0075】

また、本発明によれば、投影光学系の検査方法に用いるフォトマスクを提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態に係る投影光学系の検査方法の説明に用いるフローチャートである。

【図 2】

本発明の実施の形態に係る露光装置の概略構成図である。

【図 3】

本発明の実施の形態に係るフォトマスクの構成の一例を説明する図である。

【図 4】

本発明の実施の形態に係るワイヤグリッド偏光子の構造の一例を説明する図である。

【図 5】

本発明の実施の形態に係るワイヤグリッド偏光子の製造工程図である。

【図 6】

本発明の実施の形態に係る収差計測露光マークのパターンを示す図である。

【図 7】

本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測露光マークのパターンを示す図である。

【図 8】

本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測露光マークの他のパターンを示す図である。

【図 9】

本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測のためのレジストパターンを説明する図である。

【図 10】

本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測のための他のレジストパターンを説明する図である。

【図 11】

本発明の実施の形態に係る瞳面を通過する回折光を説明する図である。

【図 12】

本発明の実施の形態に係る偶関数収差計測のためのレジストパターンを説明する図である。

【図 1 3】

本発明の実施の形態に係るゼルニケ収差係数の計測結果を示す図である。

【図 1 4】

本発明の実施の形態に係る 2 光束干渉を説明する図である。

【図 1 5】

本発明のその他の実施の形態に係るフォトマスクの構成の一例を説明する図である。

【図 1 6】

本発明のその他の実施の形態に係るフォトマスクの構成の他の例を説明する図である。

【図 1 7】

本発明のその他の実施の形態に係るフォトマスク及びペリクルの構成の一例を説明する図である。

【図 1 8】

本発明のその他の実施の形態に係るペリクルの断面構造図である。

【符号の説明】

- 1 露光装置
- 2 光源
- 3 照明光学系
- 4 マスクステージ
- 5 投影レンズ
- 6 瞳
- 7 ウェーハステージ
- 8、8 a ペリクル
- 9 投影光学系
- 1 0 ウェハ
- 1 1 ワイヤグリッド偏光子

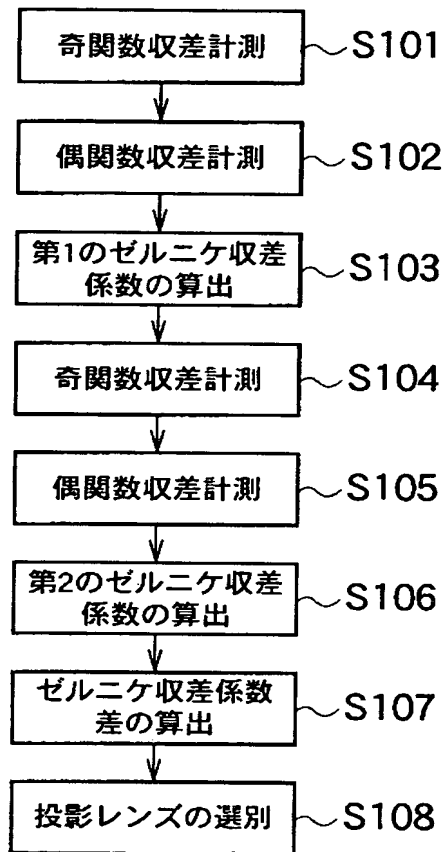


- 1 2、1 8 透明基板
- 1 3 a ~ 1 3 c、1 9 a ~ 1 9 c 遮光部
- 1 5、1 5 a ~ 1 5 c 第 1 の表面
- 1 6、1 6 a ~ 1 6 c 第 2 の表面
- 2 1 マスクパターン
- 2 2 マスクパターン像
- 3 1、3 1 a、1 6 1 第 1 の偏光子
- 3 2、3 2 a、1 6 2 第 2 の偏光子
- 3 3、3 3 a ~ 3 3 c フォトマスク
- 3 4、3 4 a ~ 3 4 c 第 1 の収差計測ユニット領域
- 3 5、3 5 a ~ 3 5 c 第 2 の収差計測ユニット領域
- 3 6 a ~ 3 6 i、3 7 a ~ 3 7 i 収差計測ユニット
- 4 1、6 1 a ~ 6 3 a、1 2 1 a ~ 1 2 3 a L / S 内枠パターン
- 4 2、6 1 b ~ 6 3 b、1 2 1 b ~ 1 2 3 b 外枠パターン
- 4 3 露光マーク
- 4 4 切り抜き露光マーク
- 4 5、6 4 b ~ 6 6 b 外枠切り抜きパターン
- 4 6、6 4 a ~ 6 6 a 内枠切り抜きパターン
- 4 7 縦 L / S パターン
- 4 8 横 L / S パターン
- 4 9 第 1 の斜め L / S パターン
- 5 0 第 2 の斜め L / S パターン
- 5 1、6 7 b ~ 6 9 b、1 3 1 b ~ 1 3 3 b 外枠レジストパターン
- 5 2、6 7 a ~ 6 9 a、1 3 1 a ~ 1 3 3 a L / S 内枠レジストパターン
- 5 3 レジストパターン
- 6 1、1 2 1 第 1 の露光マーク
- 6 2 第 2 の露光マーク
- 6 3 第 3 の露光マーク
- 6 4、1 2 4 第 1 の切り抜き露光マーク

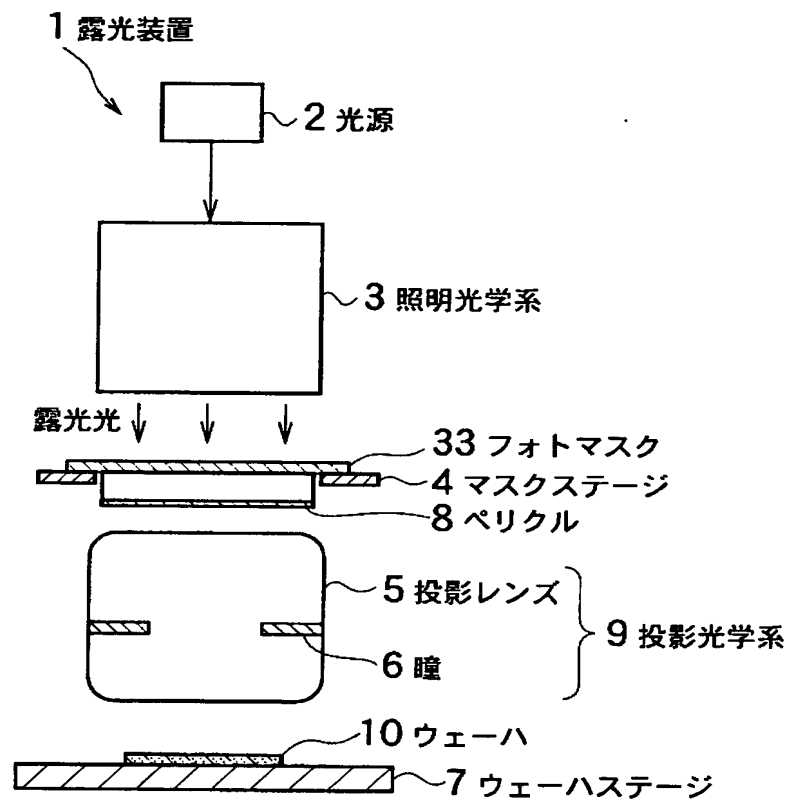
- 6 5 第 2 の切り抜き露光マーク
- 6 6 第 3 の切り抜き露光マーク
- 6 7、1 3 1 第 1 のレジストパターン
- 6 8 第 2 のレジストパターン
- 6 9 第 3 のレジストパターン
- 7 0、7 0 a、7 0 b 瞳面
- 8 1 第 1 の縦 L / S マーク
- 8 2 第 1 の横 L / S マーク
- 8 3 第 2 の縦 L / S マーク
- 8 4 第 2 の横 L / S マーク
- 9 1 a ~ 9 1 e 第 1 の縦 L / S レジストパターン
- 9 2 a ~ 9 2 e 第 1 の横 L / S レジストパターン
- 9 3 a ~ 9 3 e 第 2 の縦 L / S レジストパターン
- 9 4 a ~ 9 4 e 第 2 の横 L / S レジストパターン
- 1 1 1 a ~ 1 1 1 g 縦 L / S レジストパターン
- 1 1 2 a ~ 1 1 2 g 横 L / S レジストパターン
- 1 1 3 a ~ 1 1 3 g 第 1 の斜め L / S レジストパターン
- 1 1 4 a ~ 1 1 4 g 第 2 の斜め L / S レジストパターン
- 1 2 2 第 1 の回転露光マーク
- 1 2 3 第 2 の回転露光マーク
- 1 2 5 第 1 の回転切り抜き露光マーク
- 1 2 6 第 2 の回転切り抜き露光マーク
- 1 3 2 第 1 の回転レジストパターン
- 1 3 3 第 2 の回転レジストパターン
- 1 7 2 偏光子

【書類名】 図面

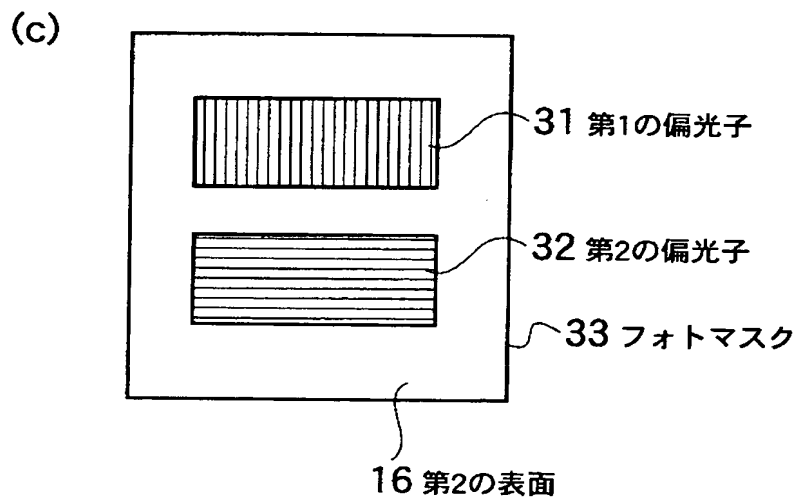
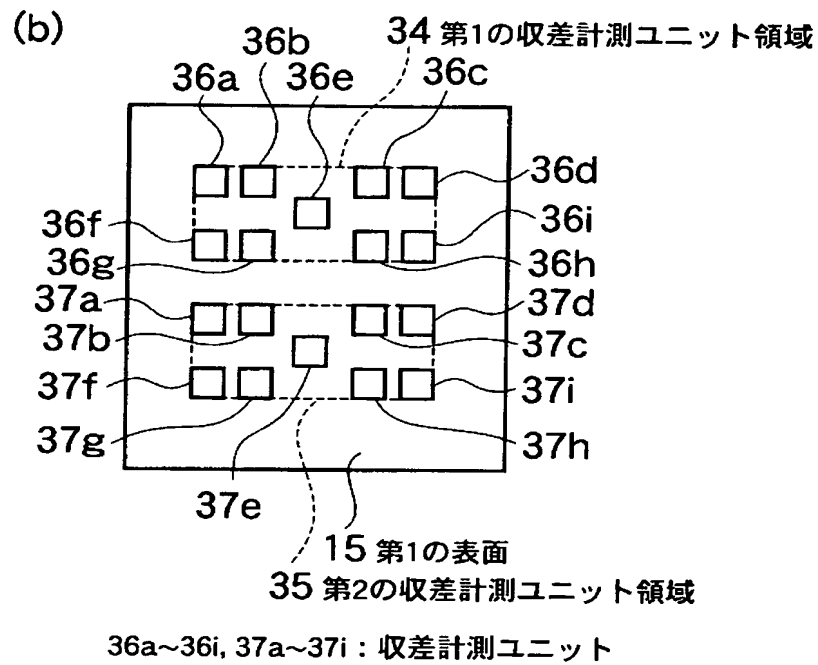
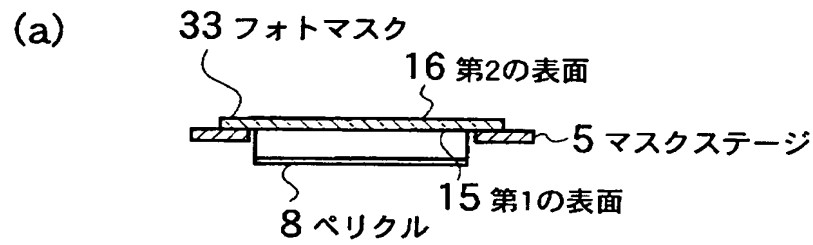
【図 1】



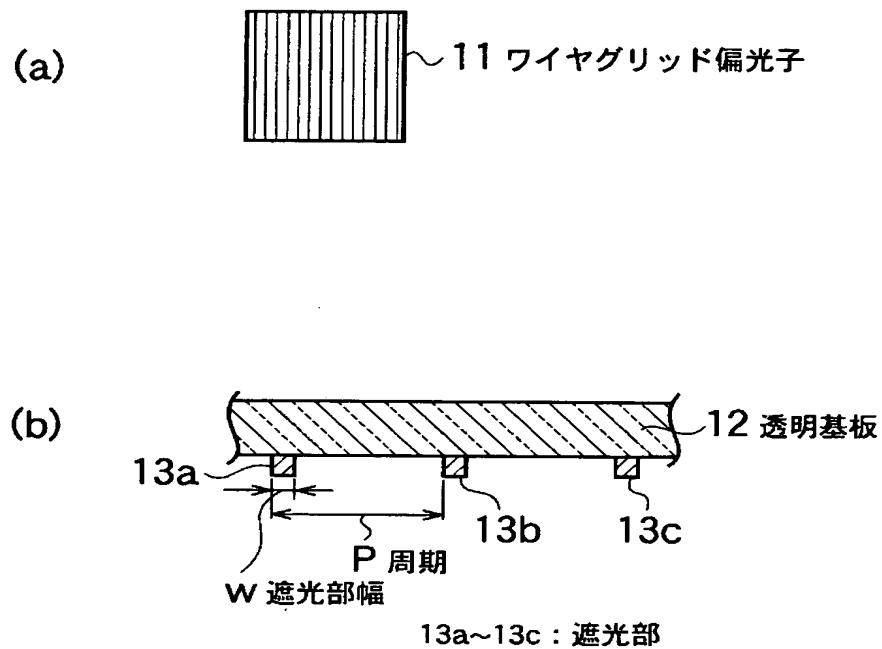
【図 2】



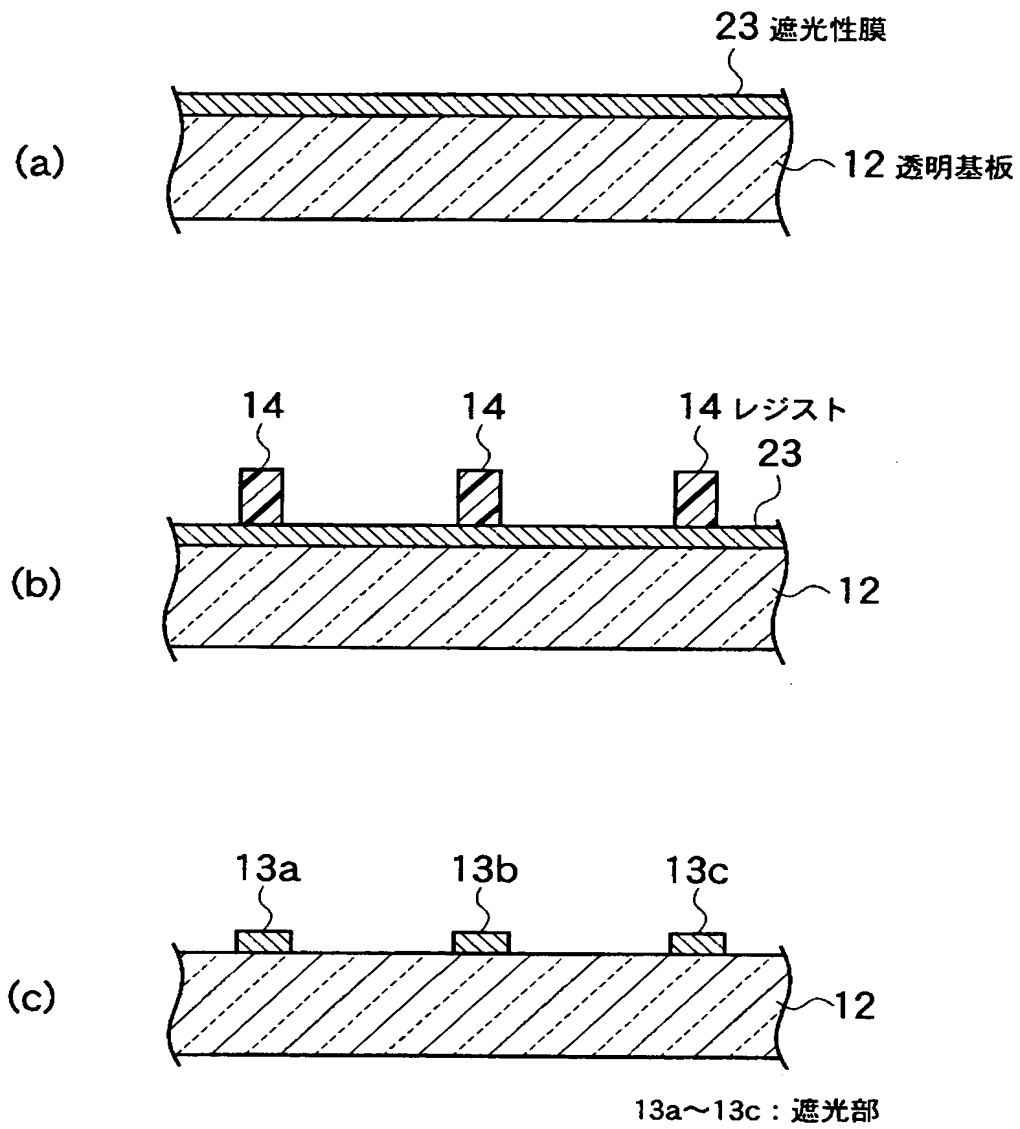
【図 3】



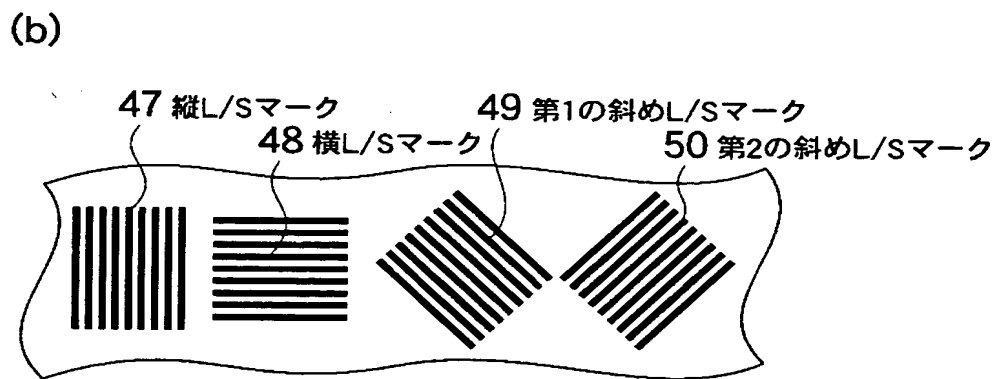
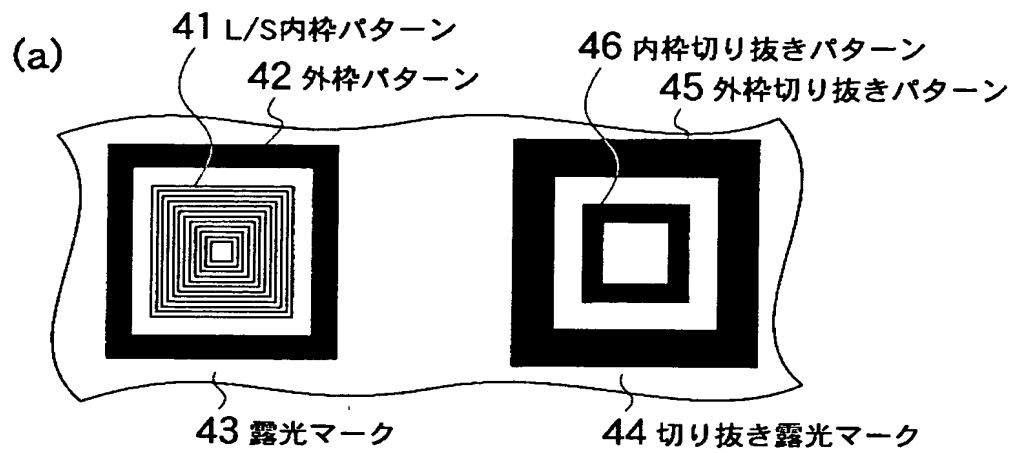
【図 4】



【図 5】

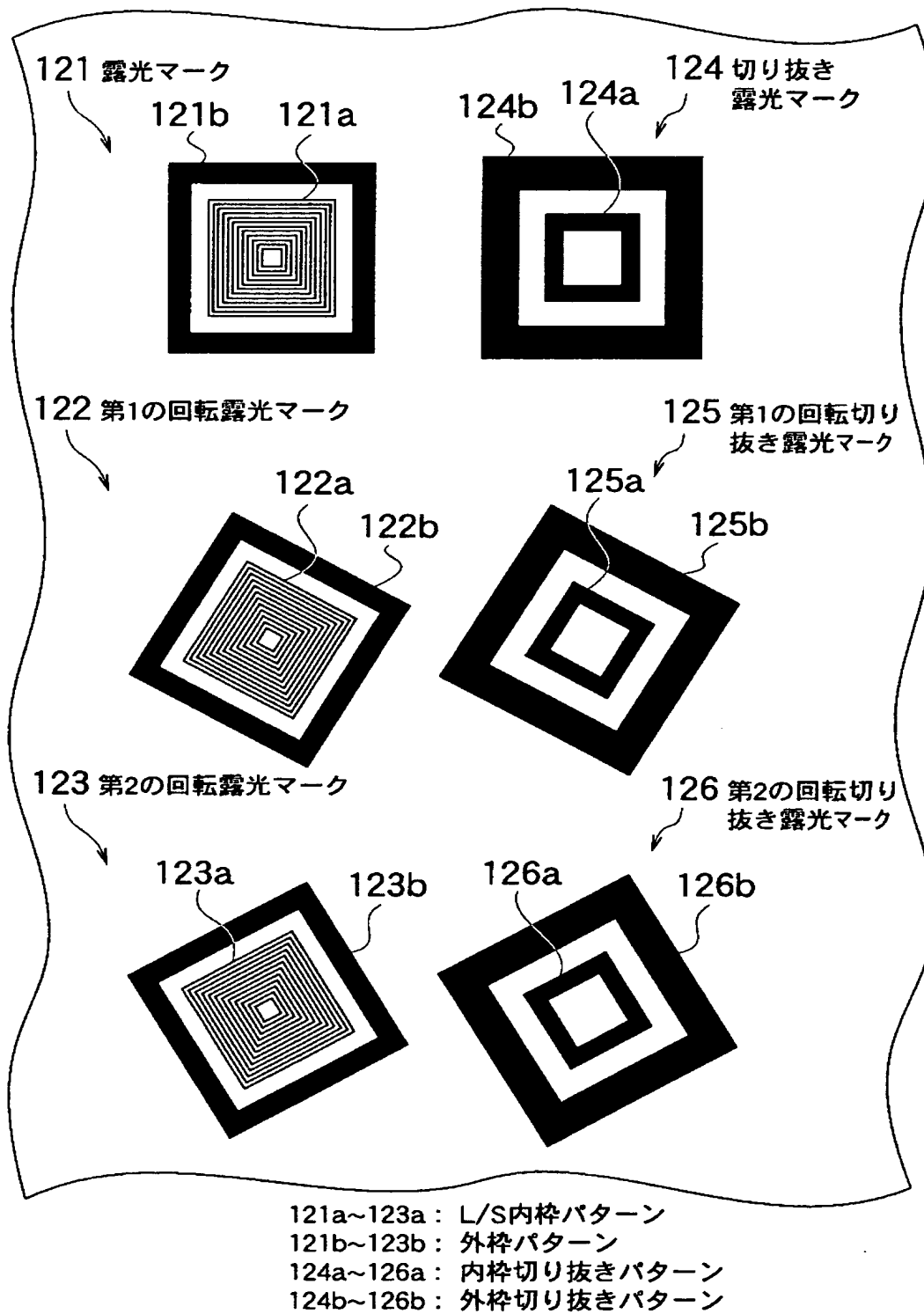


【図 6】

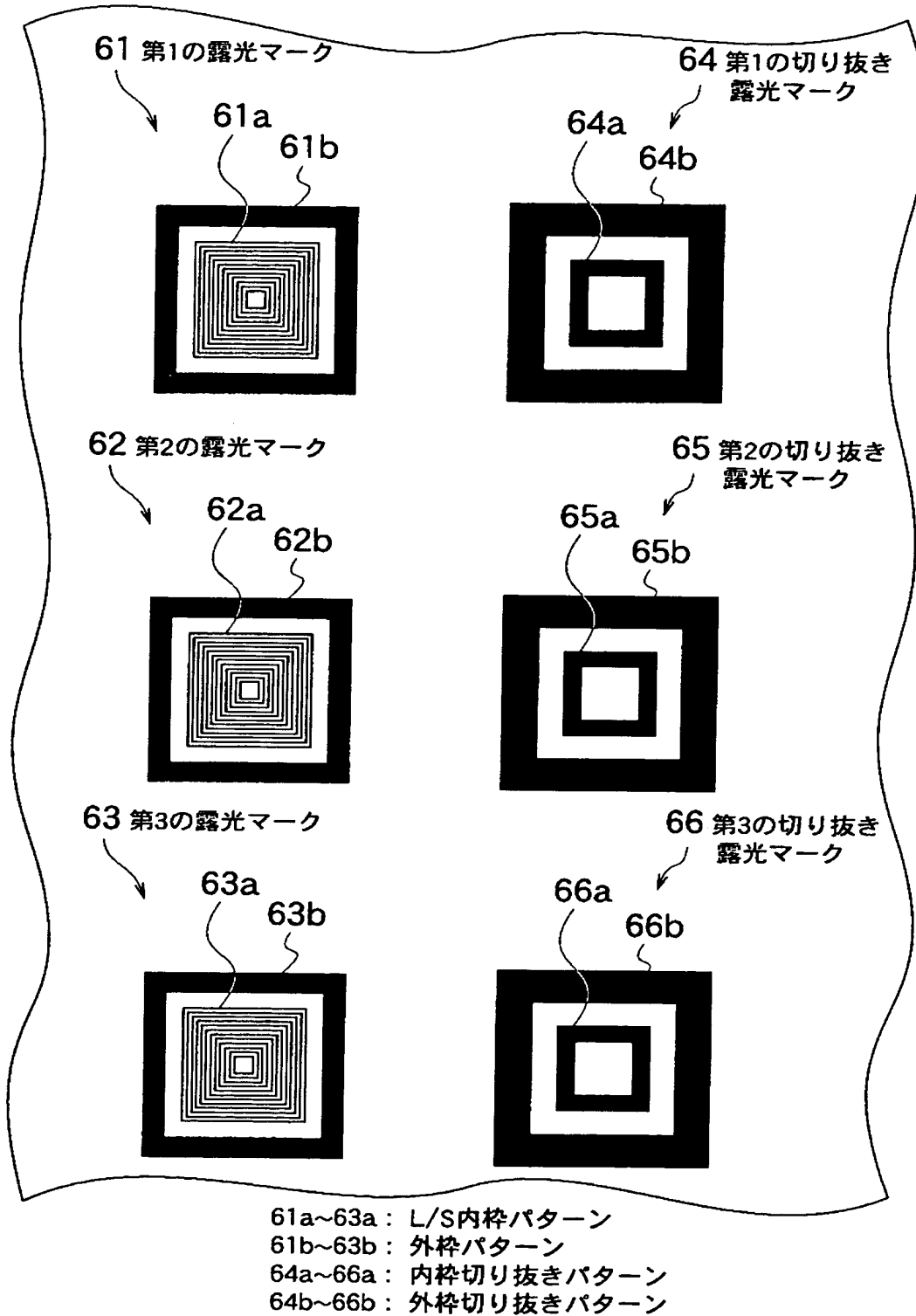




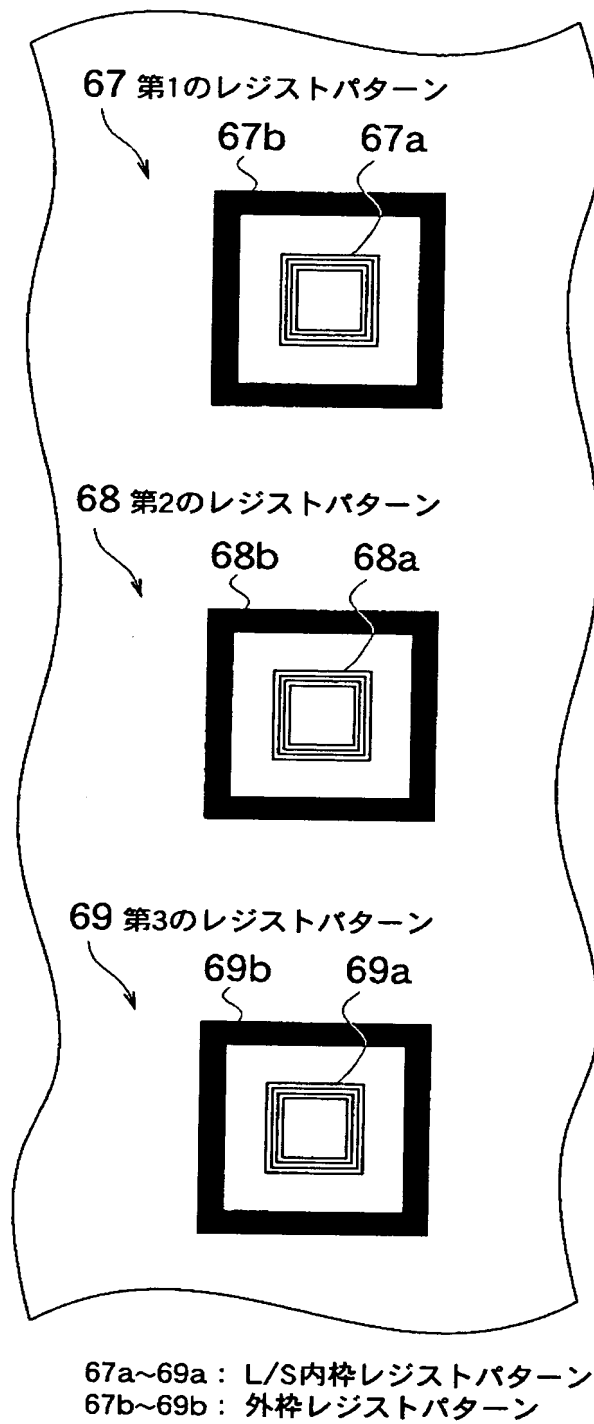
【図 7】



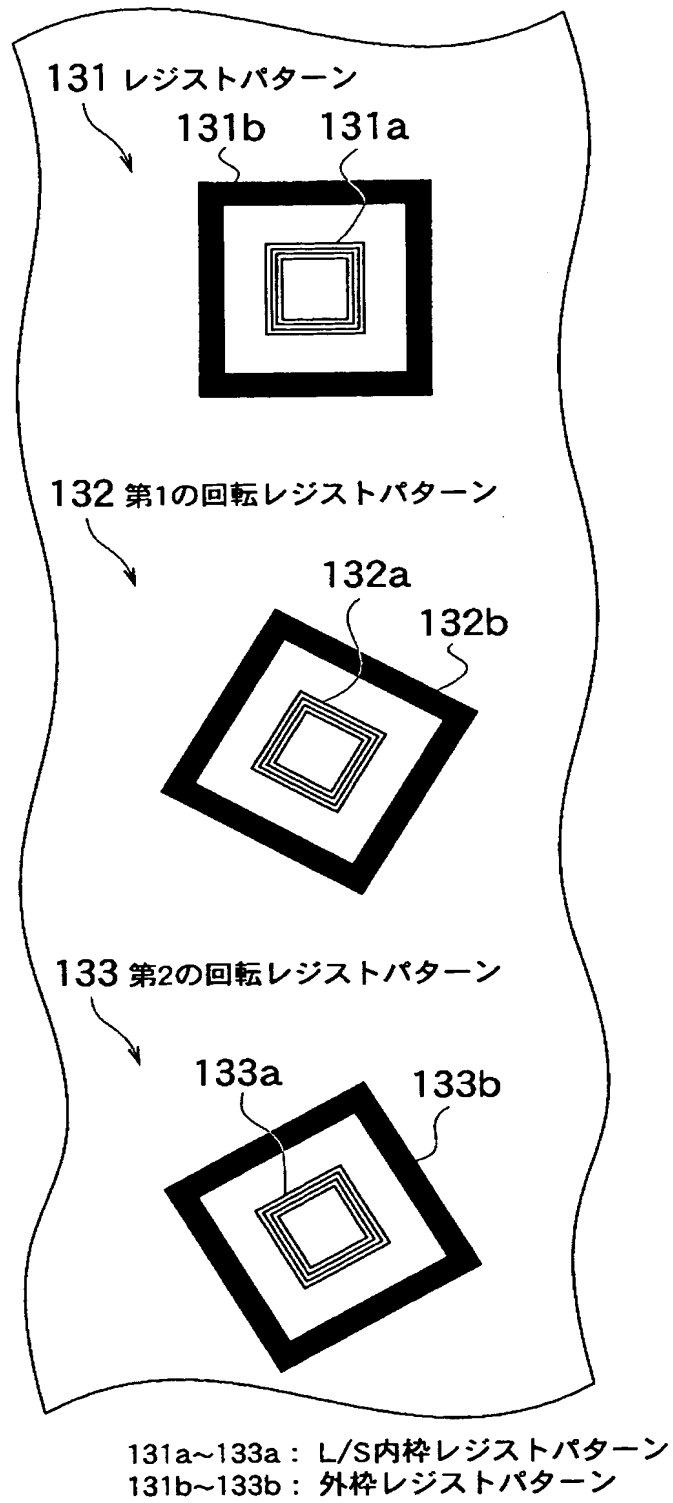
【図 8】



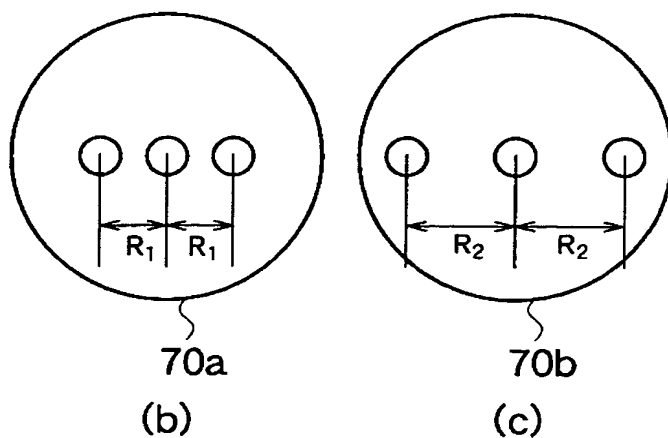
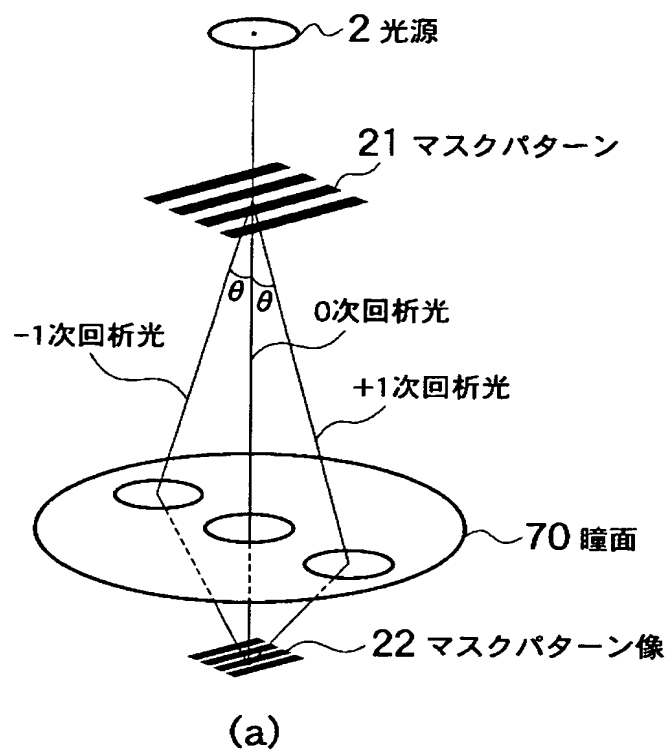
【図9】



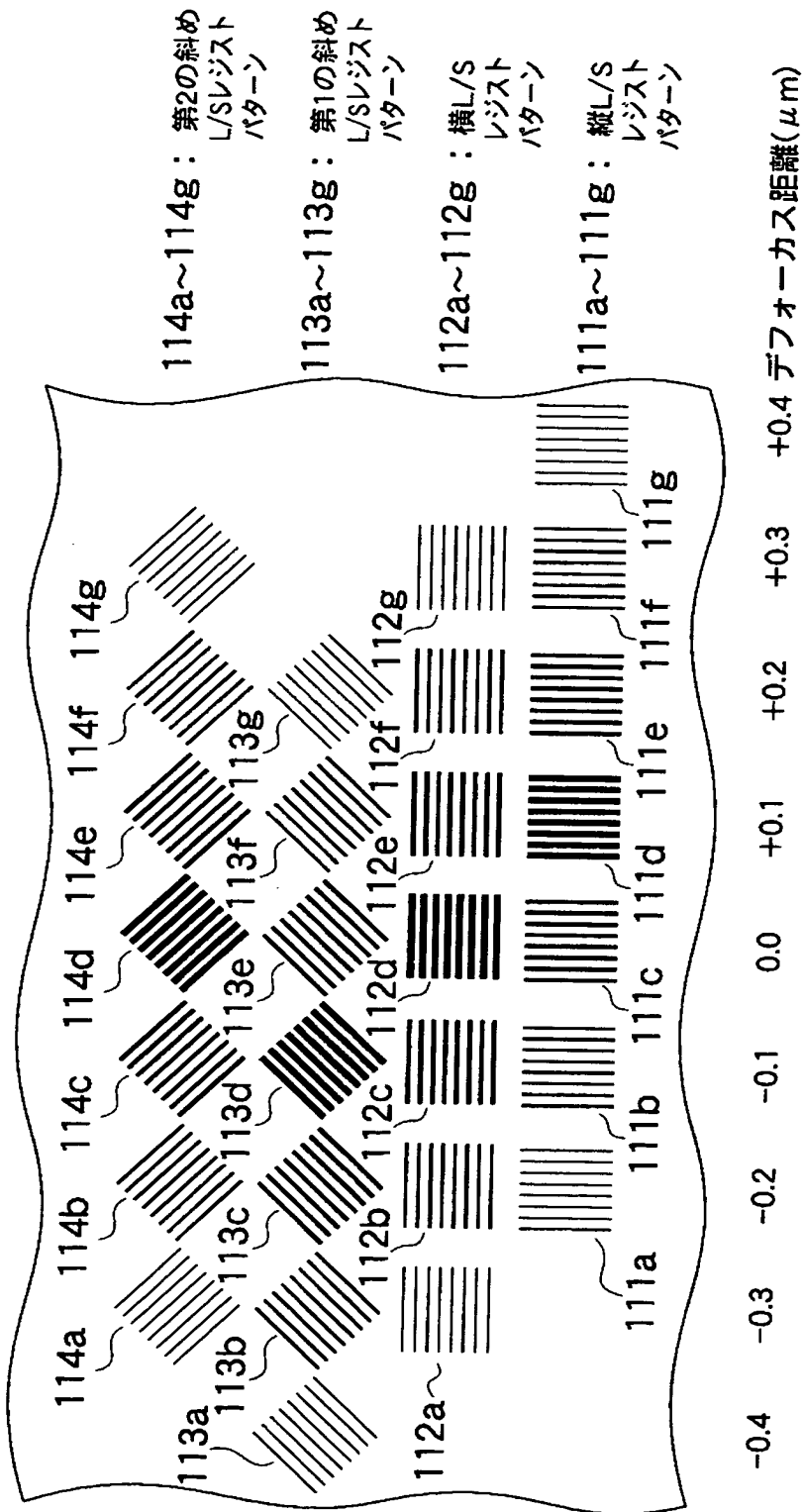
【図10】



【図 1 1】



【図 12】

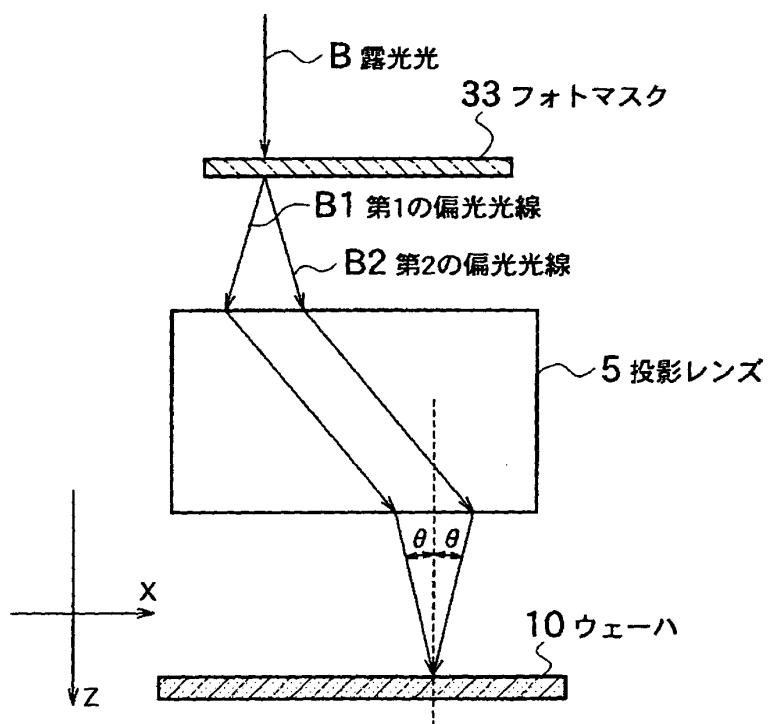


【図13】

	検査 1	検査 2	差(検査1-検査2)
非点収差 a5	10.9	6.0	4.8
非点収差 a6	6.7	15.8	-9.1
コマ収差 a7	4.2	-2.2	6.4
コマ収差 a8	0.5	-7.3	7.8
球面収差 a9	8.5	-2.4	10.9
3 $\theta$ 収差 a10	0.0	12.0	-12.0
3 $\theta$ 収差 a11	6.5	0.1	6.4

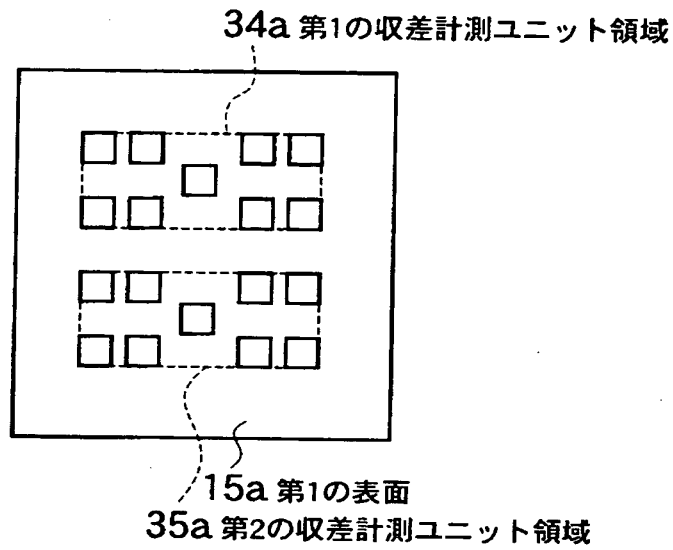
単位m $\lambda$

【図14】

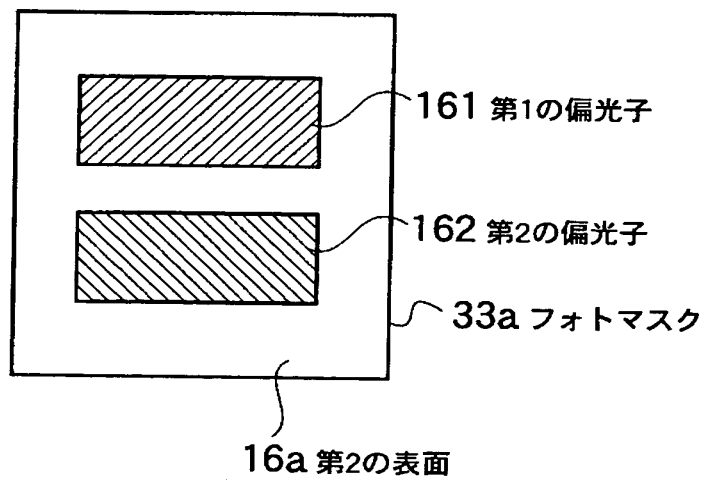


【図 1 5】

(a)



(b)

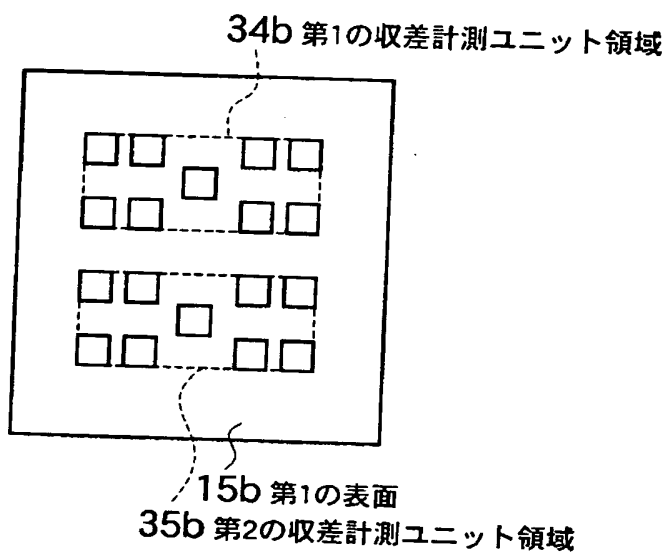




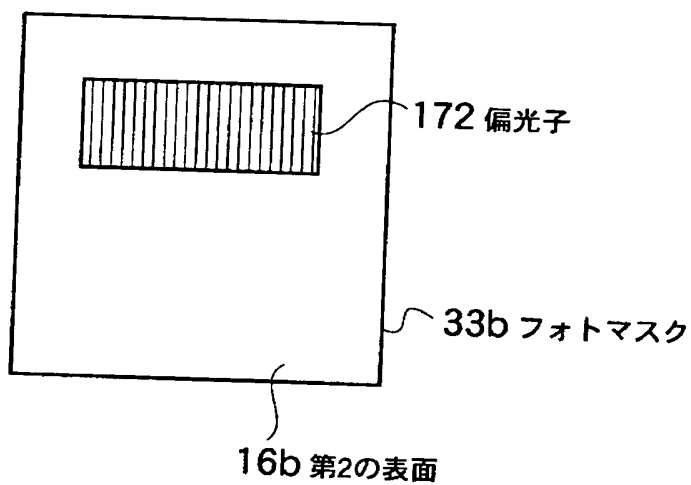


【図 1 6】

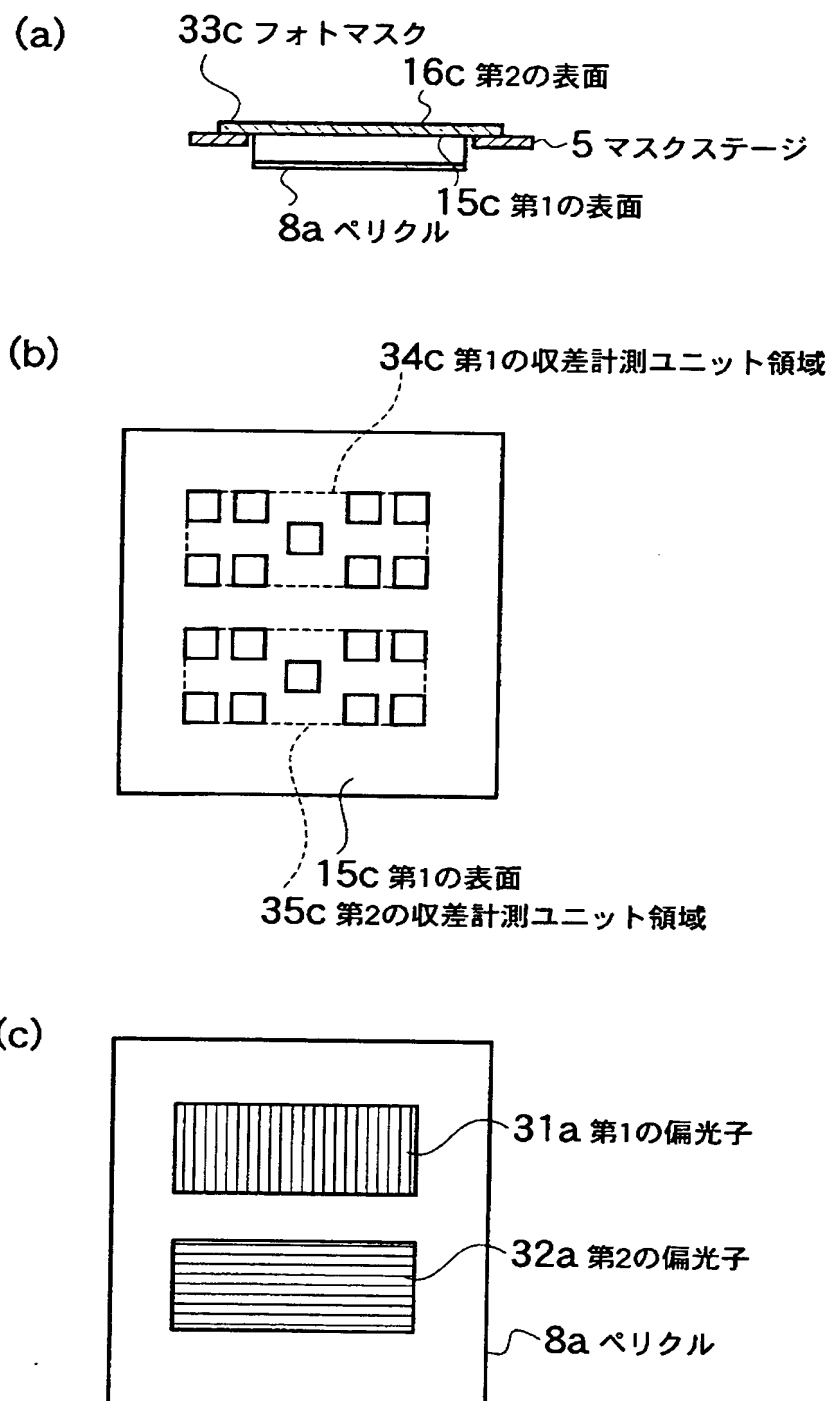
(a)



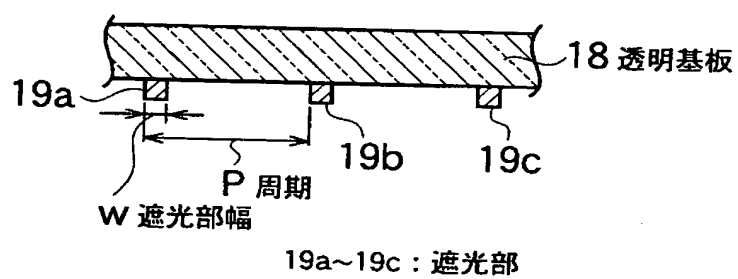
(b)



【図 1 7】



【図 1 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 投影光学系の高精度の検査方法を提供する。

【解決手段】 偏光された第1の露光光でウェーハ10上に塗布されたレジストにフォトマスク33の露光マークを転写して投影光学系9の光学特性を求める。次に、第1の露光光と偏光状態が異なる第2の露光光でウェーハ10上に塗布されたレジストにフォトマスク33の露光マークを転写して投影光学系9の光学特性を求める。そして、第1及び第2の露光光で求めた前記光学特性の差を算出して投影光学系9の性能検査を行う。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日	2001年 7月 2日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都港区芝浦一丁目1番1号
氏 名	株式会社東芝